

# Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Ilona SVAČINOVÁ

## Vývoj půd v pískovnách

Soil development in sand pits

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Praha, 2011

# **Zadání bakalářské práce**

## **Název práce**

Vývoj půd v pískovnách

(Soil development in sand pits)

## **Cíle práce**

- rešerše literatury – pedogeneze a faktory ji ovlivňující
- specifika těžebních tvarů ve vztahu k vývoji půd se zaměřením na pískovny (specifické vlastnosti substrátu)
- charakteristika půd v širším okolí zájmových lokalit
- vývoj půd v pískovnách v modelovém území v závislosti na různém sukcesním stádiu a abiotických podmínkách

## **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

Těžiště bakalářské práce bude spočívat v rešerši literatury zaměřené na pedogenezi a faktory ji ovlivňující. V modelovém území pak bude na kontrolních plochách proveden odběr vzorků a stanoveny vybrané půdní vlastnosti a určeny základní půdní znaky. Tyto pak budou konfrontovány s půdními charakteristikami z těžbou neovlivněných lokalit stejných abiotických podmínek.

Datum zadání: 10. 12. 2010

Jméno studenta: Ilona Svačinová

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Podpis vedoucího práce: .....

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu, která byla řádně citována. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze: 30. 5. 2011

Podpis:.....

### **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Tomášu Chumanovi za to, že mi dal možnost, zabývat se tímto velmi zajímavým tématem, za cenné rady a pomoc při zpracování. V neposlední řadě děkuji všem svým blízkým za pomoc, podporu a trpělivost.



## **ABSTRAKT**

Výzkumu vývoje půd v pískovnách zatím nebyla kladena dostatečná pozornost, a proto se tato bakalářská práce zabývá vývojem půd v pískovnách v průběhu primární sukcese. Provádí literární řešení nejdůležitějších faktorů ovlivňujících vývoj půd. Dále je za úkol, v modelovém území zjistit mocnost humusového horizontu a pH a jak se tyto veličiny mění v závislosti na sukcesním stáří. Diskutován je rozdíl výzkumů pedogeneze v primární sukcesí.

**Klíčová slova:** primární sukcese, pískovna, půda

## **ABSTRACT**

It has not been paid enough attention to research of soil evolution in sand pit yet, so this study is focused on soil development in sand pit within primary succession. The study makes literary recherche of the most important factors which affect soil development. The study further detects volume of humus and soil pH in model area and how these attributes are changing in dependence on succession age. Differences of researches of pedogenesis in primary succession are discussed.

**Keywords:** primary succession, sand pit, soil

## **OBSAH**

<b>Seznam obrázků</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>8</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2. Vývoj půd v průběhu primární sukcese</b>	<b>10</b>
2. 1 Klima	10
2. 2 Organismy	12
2. 2. 1 Rostliny	13
2. 2. 2 Půdní mikroorganismy	15
2. 2. 3 Mykorhiza	15
2. 2. 4 Živočichové	16
2. 3 Mateřský materiál	18
2. 4 Topografie a eroze	20
2. 5 Čas	22
2. 6 Antropogenní vlivy	23
<b>3. Vývoj vybraných půdních znaků a vlastností v průběhu primární sukcese</b>	<b>24</b>
3. 1. Fyzické a chemické vlastnosti	24
3. 1. 1 Textura	24
3. 1. 3 Obsah vody	25
3. 1. 4 pH a kationty	27
3. 1. 5 Dusík	29
3. 1. 6 Fosfor	30
3. 2 Půdní procesy	32
3. 2. 1 Fixace dusíku	32
3. 2. 2 Organický materiál	34
<b>4. Vymezení a charakteristika sledovaného území</b>	<b>37</b>
4. 1 Vymezení území	37
4. 2 Charakteristika území	39
4. 3 Půdní charakteristika okolí sledované oblasti	44

4. 4 Těžba	49
<b>5. Metodika a výsledky</b>	<b>50</b>
5. 1 Metodika	50
5. 2 Výsledky	51
<b>6. Diskuse</b>	<b>53</b>
<b>7. Závěr</b>	<b>55</b>
<b>8. Použitá literatura</b>	<b>56</b>
<b>9. Přílohy</b>	<b>63</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Interakce faktorů, které ovlivňují vývoj půdy. Šipky mimo kruhy ukazují čas a šipky uvnitř kruhu ukazují vlivy.	32
Obr. 2: Poloha vybraných pískoven v Jihočeském kraji	37
Obr. 3: Výřez půdní mapy - pískovna Lžín	45
Obr. 4: Výřez půdní mapy - pískovna Hůrka	45
Obr. 5: Půdní jednotky litu 23 – 31 Soběslav	45
Obr. 6: Výřez půdní mapy - pískovna Dračice	46
Obr. 7: Výřez půdní mapy	46
Obr. 8: Výřez půdní mapy	46
Obr. 9: Půdní jednotky listu 33 – 11 Třeboň	46
Obr. 10: Výřez půdní mapy	47
Obr. 11: Výřez půdní mapy	47
Obr. 12: Půdní jednotky listu 22 – 44 Hluboká nad Vltavou	47
Obr. 13: Výřez půdní mapy – pískovna Dobronice u Bechyně	48

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Výsledky pH	52
Tab. 2: Výsledky opad	52

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Dobronice u Bechyně	63
Příloha 2: Pískovna Kolný	63
Příloha 3: Pískovna Lžín	63
Příloha 4: Pískovna Hůrka	63
Příloha 5: Pískovna Dračice	63
Příloha 6: Pískovna Lesů ČR – Cep	63
Příloha 7: Pískovna Záblatí	64
Příloha 8: Pískovna Žemličky	64
Příloha 9: Výsledky pH skupina A a B	64
Příloha 10: Výsledky pH skupina B a C	64
Příloha 11: Výsledky pH skupina A a C	64
Příloha 12: Výsledky opadu skupina A a B	64
Příloha 13: Výsledky opadu skupina B a C	65
Příloha 14: Výsledky opadu skupina A a C	65

# 1. Úvod

K nejvýznamnějším činnostem přímé přeměny přírodního prostředí patří těžba nerostných surovin, která je jednou z hlavních antropogenních činností měnících charakter reliéfu. Vznikají při ní nové těžební tvary reliéfu, jako jsou odvaly, výsypky, doly či lomy. Tyto těžební tvary jsou posléze ponechány samovolnému vývoji či jsou nákladně rekultivovány a postupně jsou začleňovány do krajiny. Rekultivace spočívá především v zarovnání povrchu a převrstvení ornici, do které jsou vysázeny dřeviny či vyseta jetelotravní směs. U těžebních tvarů ponechaných samovolnému vývoji dochází k tzv. primární sukcesi, při které se nejprve musí vytvořit půda a dochází k osidlování území, které bylo předtím degradováno a ochuzeno o veškerou vegetaci. Sukcese v pískovnách závisí především na stanovištních podmínkách a okolní krajině, jako je vlhkost a makroklima. Tyto faktory mají velký vliv na vývoj půd a také jsou určující pro uchycení rostlin.

Ponechání těžebních tvarů samovolnému vývoji je důležité jako náhradní útočiště v krajině, zejména pro ohrožené druhy, které jinak z eutrofizované a intenzivně využívané krajiny mizejí. Další výhodou samovolného vývoje těžebních tvarů je jeho finanční nenáročnost, a jelikož tato místa bývají bez zásahu člověka, můžeme v těchto lokalitách rovněž studovat celý průběh vývoje půd.

Hlavní faktor, který ovlivňuje rychlost vývoje a druhové složení vegetace, je vývoj půd a jeho fyzikálně chemické půdní vlastnosti. Vývoj půd byl především studován na výsypkách po těžbě uhlí a malá pozornost mu byla doposud věnována v pískovnách, proto je cílem předkládané práce:

1. provést literární rešerši, týkající se vývoje půd v průběhu primární sukcese a faktorů vývoj půd ovlivňujících
2. v modelovém území zjistit, jak se mění mocnost nadložního humusového horizontu a pH v závislosti na různém sukcesním stádiu
3. diskuze výsledků s výzkumy pedogeneze v průběhu primární sukcese

## 2. VÝVOJ PŮD V PRŮBĚHU PRIMÁRNÍ SUKCESE

Absence půdy a v ní přítomných diaspor je základním atributem sukcese, kterou označujeme jako sukcesi primární. V jejím průběhu tedy nedochází pouze ke směně rostlinných společenstev, ale také k vývoji půdy, která je na jedné straně produktem vývoje jak fyzikálních, tak biologických procesů (spojuje abiotické a biotické proměnné), ale na druhé straně prostřednictvím fyzikálních a chemických parametrů rovněž zpětně určuje vývoj vegetace (Matthews, 1992).

Všeobecně uznávaný model popisující vývoj půd jako výsledek spolupůsobení několika faktorů shrnul Jenny (1941) a uvedl, že půda je výsledkem působení klimatu, organismů, mateřského substrátu, topografie a času. Jenny (1941) tak doplnil o reliéf a čas předchozí Dokučajevův model. Později byl tento model doplněn ještě o vliv člověka, který svou činností vývoj půd přímo či nepřímo ovlivňuje (Amundson & Jenny, 1997).

Klíčový význam na procesy vývoje půd v oblastech po těžbě má akumulace organického uhlíku v povrchových vrstvách vytěženého materiálu a oživení organismy. I když mikroorganismy tvoří jen asi 2-4% půdy organické hmoty, můžeme považovat jejich činnost jako jednu z hlavních procesů formování půd (Šourková et al., 2005). Sukcese na místech narušených těžbou nerostných surovin je ovlivněna následujícími abiotickými faktory: nedostatkem vody, živin, vysokými teplotami a jejich kolísáním, nestabilitou substrátu, větrnou erozí, nestabilními svahy, kolísáním hladiny spodní vody a jejím pH, u rašelinišť pak navíc hloubkou zbývající rašeliny (Konvalinková, 2006).

### 2. 1 KLIMA

Z klimatických činitelů se přímo uplatňují v dynamice pedogenetických procesů především vodní srážky, výpar a teplota. Srážky (a výpar) ovlivňují stav půdní vláh, což se projevuje v primárních změnách horninového podloží (tj. mateřské horniny; Pánek & Buzek, 2002). Jestliže srážky převládají nad výparem, dochází v půdním profilu k průsaku vody, voda s sebou odnáší z povrchových horizontů půdního profilu různé látky ve formě rozpustných solí, anebo přemísťuje látky nerozpuštěné, vysoce dispergované ve formě suspensí, emulsí. Rozpuštěné i jemně rozptýlené látky se tedy ve vodě pohybují směrem zemské tíže a svrchní půda je ochuzována. Jestliže naopak jsou srážky podstatně nižší než výpar, znamená to, že půdní voda se z povrchu ztrácí

do atmosféry, energii k tomu získává z tepla povrchové půdy. Voda odpařována z povrchu je nahrazována vodou ze spodiny, která se pohybuje proti tíži v jemných půdních kapilárách a přináší jednak půdní soli, jednak i nejjemnější zemité částice (vysoce dispergované) směrem k povrchu (Smolík, 1957).

Existují podstatné rozdíly v charakteru dynamiky pedogenetického procesu mezi humidními a aridními oblastmi (Pánek & Buzek, 2002). Extrémní teploty se často vyskytují v primární sukcesi, kde chladné (např. glaciální) nebo sušší (pouštní) podmínky, omezují tvorbu půdy a existenci rostlin. Za takových podmínek je biotický vliv na tvorbu půdy minimální (Matthews, 1992). Naopak střední úroveň srážek a mírné až teplé teploty mají za následek vysokou míru rostlinné produktivity a rozkladu, které často souvisí s rychlým hromaděním půdní organické hmoty (Walker et. al., 1996).

Klima celého území České republiky je sice dáno její polohou v mírném klimatickém pásmu, přesto se však klima jednotlivých částí území podstatně liší, což se pak projevuje v odlišném vývoji půd daného území. V našich zeměpisných šířkách klima závisí především na nadmořské výšce, ale také na expozici území k převládajícímu vzdušnému proudění a na některých dalších faktorech. Charakter klimatu je určován především průměrnými teplotami území a jejich průběhem během roku a dále pak úhrnem ročních srážek a jejich roční distribucí. Vedle těchto faktorů se rovněž uplatňuje mocnost a délka trvání sněhové pokrývky (Tomášek, 2003).

Teplota a dostupnost vody jsou možná nejdůležitějším aspektem, které ovlivňují tvorbu půdy. Extrémní teploty omezují funkci fotosyntetických enzymů rostlin a přítomnost vody v kapalně formě. Příliš mnoho vody snižuje hladinu půdního kyslíku pro kořenové dýchání, zatímco příliš málo vody omezuje rozklad, mineralizaci, ale rovněž řadu fyziologických funkcí půdních organismů a rostlin, včetně fotosyntézy. Půdní organismy jsou omezovány podobným způsobem. Většina organismů má teplotní optimum mezi 15 a 35 °C (Walker & del Moral, 2003). Teplota také řídí rychlost jak biologických, tak i horninových zvětrávacích procesů. Při teplotě 0 °C a nižší je dostupné malé množství vody ke zprostředkování chemických reakcí. V extrémně chladném prostředí převládá fyzikální rozklad horninového materiálu nad chemickým rozložením minerálů (Sumner, 2000).

Teplota a dostupnost vody se také výrazně liší na malém území v závislosti na expozici či sklonitosti v rámci těžebních tvarů. Například při měření ve vápencovém Růženině lomu vykazoval stepní svah s vegetačním krytem nejvyšší teplotní rozdíly (vegetace zdánlivě funguje jako izolační vrstva s menší tepelnou kapacitou a vodivostí tepla;

evaporace a evapotranspirace navíc část tepla spotřebovává), obnažený skalní podklad v době kladné radiační bilance teplo akumuloval a v nočních hodinách jej vyzařoval intenzivněji než stepní svah. Lze, předpokládat, že vlivem převažující jižní orientace svahů získává Růženin lom významně nadprůměrné množství radiace. Albedo vápencových skal je vyšší než albedo vegetačního krytu, z čehož vyplývá i větší světelný požitok rostlin (Tichý, 2006). Mikroklimatické extrémny, které se vytvářejí v závislosti na sklonu a expozici terénu, jsou typické rovněž pro haldy. Tmavá hlušina silně absorbuje sluneční záření, takže na jižně exponovaných svazích v letním období mohou povrchové teploty dosáhnout i 55°C. V nočních hodinách dojde k ochlazení, které vyvolává v hloubce okolo 20 cm silnou kondenzaci vodních par. Vytváří se tak významný zdroj vláh pro vegetaci (Koutecká & Koutecký, 2006). Nicméně podmínky, které podporují čistou primární produkci (středně vlhké a teplé podnebí, pórovitost), také zvyšují rozklad a mineralizační vazby. Proto v teplejších oblastech či na teplejších stanovištích je větší ztráta organické hmoty a snížení akumulovaného uhlíku v půdě (Walker & del Moral, 2003). Ve středně vlhkém podnebí dochází nejen ke zvýšení produktivity rostlin při maximálním podzimním opadu, ale i ke zvýšení aktivní mikrobiální populace, což je spojeno s vysokou mírou rozkladu (Walker & del Moral, 2003).

## 2. 2 ORGANISMY

Na půdotvorných pochodech se podílejí organismy od nejnižších forem (mikroorganismů) až po nejvyšší, a to jak ze zástupců flóry, tak fauny. Veškeré působení organismů na půdu (a matečnou horninu) označujeme jako biologické zvětrávání. Jeho intenzita je dána jednak povahou příslušných půd (a substrátů), jednak, a to zejména povahou klimatu. Ve vlhkých tropických oblastech je veliká intenzita biologického zvětrávání, zatímco v suchých a chladných oblastech je nepatrná (Smolíková, 1982). Rostliny poskytují většinu organického materiálu pro tvorbu půdy, ale také mají vliv na tvorbu půd mnoha jinými způsoby, například dýcháním, přítomností kořenů aj. (Walker & del Moral, 2003). Dýchání rostlin může mít například přímý dopad na proudění vody v půdě. Také se rostliny výrazně podílejí na vytváření prostorové struktury nadzemních a podzemních částí ekosystémů, ovlivňují tak mikroklima, migrační a hnízdicí možnosti živočichů apod. (Frouz, 2006). Například v solných lomech je klíčové pro počáteční fázi vývoje půd uchycení vegetace (Ottenhof et. al., 2007).



Organismy jsou důležité také pro promíchávání organické a minerální složky půdy. Mohou třídit velikostně částice a vytvářet makropóry pro přímý preferenční průtok vody. Menší zvířata jsou stejně účinná při řízení procesů a to buď posílením, nebo zpomalením konkrétních směrů v půdní formaci. Mravenci, termiti, chvostokosci a žížaly přesouvají organickou hmotu z povrchu směrem dolů, promíchávají horizonty v půdě a vytváří makropóry v různých prostředích (Sumner, 2000).

Půdní biota je překvapivě bohatá již v počátku primární sukcese, jak na příkladu lávových proudů ukázal Matthews (1992). Největší vliv na počátku primární sukcese na výskyt půdních organismů má pH půdy. Například půdní houby jsou obecně více tolerantní ke kyselým podmínkám, než jsou půdní bakterie (Foy, 1984).

Jak rostliny, tak i živočichové a mikroorganismy mají zásadní vliv na formování půdy a řada interakcí mezi rostlinami a půdními živočichy je zprostředkována půdním prostředím. Jejich vliv je podrobně rozveden v následujících podkapitolách.

## 2. 2. 1 ROSTLINY

Kořeny mají mnoho vlivů na fyzikální a biologickou strukturu půdy (Walker & del Moral, 2003). Za ideálních podmínek mohou kořeny rostlin zabírat až 5% objemu povrchu půdy (Killham, 1994). Bylinné porosty (především stepní traviny) vytvářejí v půdě hustou a jemnou kořenovou síť ve svrchní části půdy, která i s nadzemní částí odumírá, s výjimkou víceletých travin. Za aktivní účasti mikroflóry dochází k rozkladu a půda je každoročně obohacována o humus a dusíkaté látky (Pánek & Buzek, 2002). Kořeny podmiňují koloběh živin tím, že poskytují přímé vedení pohybu živin z půdy do nadzemních částí rostlin, které jsou pak do půdy vráceny v podobě opadu na povrch půdy (Sumner 2000).

Prokořenění půd závisí i na charakteru primárního povrchu. Na porézních površích se často vyskytuje více vegetace než na méně porézních půdách z důvodu lepšího prorůstání kořenů a lepší infiltrace vody. Kořenová absorpce vody u rostlin dále ovlivňuje vlhkostní režim půd, obecně dochází k vysušení rhizosféry. Chemické vlastnosti půd jsou dále ovlivňovány kořenovou respirací, která může představovat 30% celkové půdní respirace (Killham, 1994; Coleman & Crossley, 1996). Chemismus půd rostlin se mění i pomocí kořenových výměšků, uvolňovaných při dýchání. Exudáty plné uhlíku zvyšují minerální zvětrávání, mění pH půdy a mají hlavní vliv na mikrobiální

populace v rhizosféře. Změnu chemismu půd mohou ovlivnit i mikroorganismy, které jsou pro rostliny prospěšné například tím, že fixují vzdušný dusík, nebo chrání rostliny před chorobami nebo jim poskytují chemické látky podporující růst (Killham, 1994).

Sukcese rostlinného společenstva je primárně determinována abiotickými podmínkami stanoviště a druhovým složením společenstva v blízkém okolí (Frouz, 2006). Tuto skutečnost prokázali rovněž Novák & Konvička (2006) u čedičových lomů, ve kterých se vyvíjejí xerofilní stepi s druhovým složením nacházejícím se v blízkém okolí. Tsuyuzaki & del Morala (1995) se této problematice věnovali na holých vulkanických stanovištích a rovněž potvrdili závislost druhového složení na zdroji diaspor. Sukcesi vegetace v pískovnách studovala Řehounková (2006) a prokázala, že kromě stáří (věk od opuštění) stanoviště ji průkazně ovlivňuje výška hladiny spodní vody, půdní textura, pH, makroklima, přítomnost některých okolních (polo)-přirozených společenstev (suché louky, lesy, mokřady) a některé způsoby využití krajiny (lesy, vlhké louky, zemědělské plochy a urbánní plochy). Sukcesi v lomech ve Švédsku se věnoval Borgegård (1990). Tyto lomy byly obklopené borovým vřesovištěm a suchými jehličnatými lesy a měly písčitou a dobře odvodněnou půdu, přesto byly chudé na živiny. Lomy v těchto lokalitách byly kolonizované pouze úzkou škálou druhů.

Rostliny také obohacují půdu živinami. Přispívají buď z nadzemní biomasy na povrchu půdy jako opad, anebo k podzemní, jako kořeny, které přispívají produkcí exudátů a exfoliovanými buňkami (Coleman & Crossley, 1996). V průběhu sukcese dochází rovněž k vytvoření kořenových symbióz s kořenovými houbami tzv. mykorhiza (více vysvětleno kap. 2. 2. 3). Mykorhiza rostlinám pomáhá při získávání anorganických živin a vody. Tato symbiotická asociace má významný vliv i na jiné druhy bioty, zejména mikroby a živočichy, které obývají půdu (Coleman & Crossley, 1996).

Kořenové systémy se značně liší v morfologii, životnosti, aktivitě a ve svém složení, což je důsledek prostředí a také druhových rozdílů, ale jejich funkce pro rostliny je stejná, a to dodávání vody, minerálních živin a zakořenění v půdě. Klíčovým rysem téměř všech kořenových systémů je požadavek na aerobní podmínky v půdním prostředí. Požadavek rostlin na dostatečné provzdušnění půdy je značné (Killham, 1994).

Úspěch rostlinných druhů při kolonizaci je do značné míry ovlivněn i jejich biologickými vlastnostmi. Jedná se zejména o způsob rozšiřování semen, růstovou formu, životní strategie a schopnost konkurence, možnosti vegetativního množení, ale i o délku života (Glenn-Lewin et al., 1992).

### 2. 2. 2 PŮDNÍ MIKROORGANISMY

I když mikroorganismy tvoří jen asi 2-4 % půdní organické hmoty, lze uvažovat o jejich činnosti jako o jednom z hlavních procesů při formování půdy. Půdní mikroorganismy se vyskytují v téměř každém prostoru půdních pórů, které jsou dostatečně velké a zabírají méně než 0,5% z celkového pórového prostoru (Killham, 1994).

Houby zpravidla tvoří většinu z celkového objemu mikrobiální biomasy, i když v raných stádiích primární sukcese mohou dominovat bakterie (Walker & del Moral, 2003). Podle Prášila et. al. (2006) ve studii na opuštěném rudním odkališti Chvaletice, bylo zjištěno, že diverzita mikroskopických půdních hub v toxických půdách těchto odkališť byla vysoká a bylo zde nalezeno až 110 druhů, které vytváří v degradovaných půdách odkališť určitá společenstva odolná proti působení stresových faktorů extrémního prostředí.

### 2. 2. 3 MYKORHIZA

Výrazný vliv na přežívání rostlin na stanovištích po těžbě nerostných surovin má mykorhiza. Mykorhiza je symbiotický vztah mezi kořeny rostlin a houbami, který nacházíme u většiny cévnatých rostlin (Killham, 1994). Napomáhá absorpci mnoha živin a především vody, čímž zvyšuje kontakt mezi kořeny a větším množstvím půdy. Mykorhiza může změnit kyselost nebo toxicitu půd a zlepšit absorpci mnoha živin včetně P, N, K, Zn, Cu, Mg a S (M. Allen et. al., 1999). Existuje několik různých forem mykorhizní asociace, ale v mnoha případech se podílejí houby na zvyšování příjmu živin rostlinami (stopových prvků). Mycelium je v půdě více rozrostlé než samotné kořeny rostlin, a proto rostliny tvořící mykorhizy mohou absorbovat živiny v nižších koncentracích roztoku, než kořeny rostlin netvořící mykorhizu (Killham, 1994). Mykorhizní houby související s kořeny mnoha druhů rostlin jsou zvláště užitečné pro rozkládání minerálního podkladu a k uvolnění P (Sumner, 2000).

Význam mykorhiz v primární sekcesi studovali Kovář (2006), Prášil et. al. (2006), Hroudová & Zákravský (2004). Prášil et. al. (2006) zjistili, že dominantní druhy půdních mikroskopických hub narušených a přirozených půd se výrazně odlišují. Kovář (2006) a Hroudová & Zákravský (2004) zjistili, že podhoubí makro- i mikromycet dokáže v kombinaci se střídavými situacemi v počasí stvořit na opuštěném odkališti dynamickou povrchovou krustu, která zajímavým způsobem funguje jako další činitel podporující

osídlování extrémního prostředí organismy. Ke stejným výsledkům dospěl ve svých studiích na odkalištích Prášil et. al. (2006), který ukázal, že mikroskopické houby vytvářejí v degradovaných půdách odkališť určitá společenstva a dekompoziční činností přispívají k rozkladu organického materiálu rostlinného a živočišného původu, který se na plochy odkališť dostává z okolního prostředí (viz 2. 2. 2). Spolu s mikromycety rhizosféry pionýrských cévnatých rostlin svým podílem přispívají k obnově fertility půdy a nastartování procesu přirozené sukcese při revitalizaci původně mrtvých toxických ploch.

Houby tvořící mykorhizu se na lokalitu dostávají z přežití mykorhizních fragmentů ve vodě nebo z výtrusů zvířat. Mykorhizní fragmenty ve vodě jsou vyšší než přežívání rozptýlených spor v ovzduší (M. Allen et. al., 1999). Rozptýlení ve vzduchu přináší problémy se suchem a vyšší intenzitou záření. Další možností je přenášení výtrusů zvířat do vzdálených oblastí nebo introdukce houbových populací z nenarušených míst nebo z disturbancí pohřbených půd (Mount St. Helens; Allen et. al., 1992).

Výskyt mykorhiz velmi ovlivňuje půdní pH. Hodnoty pH půdy silně podmiňuje mykorhizní vývoj, kterým se mění biologická dostupnost jak živin a toxinů. Pro mnohé vezikulo-arbuskulární mykorhizy<sup>1</sup> je vývoj velmi omezen v kyslejších půdách a půdní voda hraje klíčovou roli v rozvoji mykorhizy (Killham, 1994).

## 2. 2. 4 ŽIVOČICHOVÉ

Půdní organismy mají klíčovou roli ve formování půdy. Nejvýznamnější role připadá bezobratlým. Půdní bezobratlí jsou obvykle rozděleny do tří velikostních tříd: mikrofauny (<200 µm délky těla), mezofauny (200 µm - 2 mm) a makrofauny (2 mm - 20 mm). Do mikrofauny patří prvoci a hlístice, do mezofauny patří roztoči a chvostoscoci a do makrofauny patří žížaly, mravenci a termiti. Odpadní produkty z těchto zvířat (zejména žížalové shozy a odumřelí živočichové) obohacují půdu živinami. Půdní bezobratlí jsou obvykle ve větším množství v půdách bohatých na živiny (Walker & del Moral, 2003). V půdním vývoji, především v rozkladu kořenů rostlin, hrají klíčovou roli hlístice. Jsou extrémně různorodé a četné. Hlísticová druhová rozmanitost se zdá být nejvyšší ve středních šířkách, ale v téměř ve stejném množství

---

<sup>1</sup> Vezikulo-arbuskulární mykorhiza (mutualismus) - při níž houba proniká buňkami kůry kořene cévnatých rostlin. Charakteristickým rysem AM jsou unikátní struktury v buňkách, zejména arbuskuly a vezikuly.

se vyskytují na vyvíjejících se dunách i na většině úrodných půd (Boag & Yeates, 1998).

Členovci (zejména brouci, mravenci a termiti) a kroužkovci (zejména žížaly) jsou také velmi důležití pro vývoj půdní struktury (Walker & del Moral, 2003). Kovář (2006) uvádí, že mravenci v opustěných odkalištích využívají k cestování mozaiku stinných trhlin v povrchové krustě a do svých hnízd si buď jako stavební materiál nebo potravu nosí z širšího okolí odkaliště semena rostlin. Roznos semen mravenci je znám pod pojmem myrmekochorie a některé rostliny jsou ve svém šíření vyloženě závislé na takovémto způsobu distribuce. I termiti jsou jedním ze tří hlavních skupin bezobratlých, kteří přemísťují zeminu. Kopcovité stavby některých druhů termitů mají zásadní vliv na distribuci a kompozici půdních minerálních a organických látek. Jednoleté byliny mohou růst v slabě vyvinutých půdách z termitišť, která jsou obvykle chudší na živiny a kompaktnější než okolní půdy (Coleman & Crossley, 1996). Chvostokoci, střevlíci a brouci nebo roupicoví červi předchází žížalám na různých místech (například na hlušině v uhelných lomech). Příchod žížal poté půdní vývoj zrychlí (Walker & del Moral, 2003). Žížaly mají výrazný vliv na půdní strukturu jako důsledek jejich hrabající činnosti, jakož i jejich požíváním půdy, jsou zodpovědné za značné mixování horních vrstev půdy "bioturbaci", kterou provádí společně s mravenci a termity. Makropóry vytvořené žížalou mohou také umožňovat rozpouštění hnojiv ve stojatých vodách v provlhčeném systému, kde je hladina nižší než kořenová zóna. Hnojiva a jiné zemědělské chemikálie se mohou hromadit v podzemní vodě v agroekosystémech, kde se žížaly vyskytují (Coleman & Crossley, 1996).

Důležitou roli v mísení půd a koloběhu živin mají i obratlovci. Významnou úlohu hrají krtci a hlodavci. K jejich životu patří ražení rozsáhlých tunelů (Walker & del Moral, 2003), díky tomu rozšiřují inokulace mykorhizními houbami<sup>2</sup>, což je přínosem pro mnoho rostlin (Kilham, 1994). Velcí býložravci mají také významný vliv na produktivitu a hnojení půdy svými výkaly a odumřelinami, ale dlouhotrvající nadměrná pastva snižuje humusovou produkci, a to následně má negativní dopad na tvorbu půd a tím snižuje aktivitu v půdě a stavy bezobratlých, které mísí humusovou složku (Abbott, 1989).

---

<sup>2</sup> Inokulace (naočkování) mykorhizními houbami je pro podporu růstu a zlepšení šance semenáčků na uchycení po vysazení.

## 2. 3 MATEŘSKÝ MATERIÁL

Nový substrát, který zůstane např. po vážné disturbanci či vulkanický materiál po sopečné erupci, je samozřejmě zásadním faktorem, který řídí proces tvorby půd přes jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Primární povrchy zahrnují širokou škálu textur a úrovní stability a úrodnosti (Walker & del Moral, 2003). Například materiál odvalu je často netříděný, s variabilní velikostí zrn, nezděná se vyskytují i balvany. Díky tomu je mezi částicemi hodně mezprostorů, které zajišťují dobré provzdušnění vznikajícím půdám (Koutecká & Koutecký, 2006). Elgersma (1998) zkoumal základní materiál z vysoce křemenného písku v centrálním Nizozemsku. Tyto materiály jsou velmi chudé na živiny, proto je velmi důležitý přísun živin z organické hmoty.

Mateřské horniny můžeme třídit podle různých hledisek, nejčastěji však podle jejich geologického stáří, které se většinou odráží v jejich stupni zpevnění, majícím podstatný vliv nejen na tvorbu a vývoj půd, ale i na jejich znaky, vlastnosti a režimy (Tomášek, 2003).

Nezpevněné substráty jsou v našich podmínkách většinou čtvrtohorního (kvartérního) a zčásti též třetihorního (terciérního) stáří. Kvartérní sedimenty se dále dělí na usazeniny čtvrtohor starších – pleistocénu a čtvrtohor mladších – holocénu (kam patří zejména nivní, deluviofluviální a organické uloženiny). Starší horniny jsou buď pevné (vyvřeliny, metamorfika), nebo v různém stupni zpevnělé (sedimenty), a proto je často nazýváme souhrnně horninami skalního podkladu. Vlastní půdy se však ani v tom případě nevytvářejí přímo na pevné hornině, ale na její zvětralině, která je pochopitelně původu mladšího, nejčastěji opět kvartérního, ale někdy i terciérního, případně ještě staršího (Tomášek, 2003).

Písky a štěrkopísky vznikaly především v důsledku říční, jezerní či mořské sedimentace a eolických procesů (naváté písky; Starý et al., 2010). Obecně platí o skladbě a zrnitosti matečné horniny, že kompaktní substráty vzdorují zvětrávacím pochodům a půdnímu vývoji, zatímco sypké působí opačně. Zrnitost substrátu ovlivňuje půdní druh (např. skeletovité půdy na kamenitě zvětrávajících horninách, písčité na pískovcích, hlinité na spraších adt.). Skeletovité nebo písčité půdy snadno podléhají vyluhování, které vede k podzolizaci (Smolíková, 1982). Obvykle jsou písčité půdy příliš vyčerpané, mají nízkou úrodnost a zadržovací kapacitu vody. Vzor částic v základním podloží poskytuje preferenční směry proudění vody, která zvyšuje zvětrávání a tvorbu půd (Sumner, 2000).

V procesu fyzikálního zvětrávání vyvěřelých a metamorfovaných hornin, jakož i zpevněných sedimentů, je důležitý podíl zvětralin, zejména pak jemnozeme (částice pod 2,0 mm), která je velmi důležitá pro vývoj vodního režimu a základních chemických a fyzikálně chemických vlastností substrátu. Spraše, sprašové hlíny, písky a další hlinité a jílové sedimenty podléhají fyzikálnímu zvětrávání velmi pozvolna, a to z důvodu, že jako jemnozrnné klastické sedimenty již tomuto zvětrávání podlehly (Štýs et. al., 1981). Například zvětrávání hlušiny po těžbě nerostných surovin na kontaktu s atmosférou probíhá relativně rychle (s výjimkou pískovců s křemitým tmelem). Typický je střípkovitý rozpadu jílu v podkrušnohorské pánvi, jenž nastává již v prvních letech po nasypání (Štýs et. al., 1981). Vlivům tvrdosti hornin se ve svých pracích věnoval Yuan et. al. (2006), který uvádí že půdní vývoj na tvrdých horninách, jako je čedič nebo žula, je velmi pomalý.

Substráty primárních povrchů jsou obecně nestabilní a tvorba půdy může být urychlena, pokud začnou úrodný povrch stabilizovat kolonizující rostliny (Walker & del Moral, 2003). V procesu tvorby půd na výsypkách, odvalech, skládkách a dalších devastovaných plochách má biologické zvětrávání významnou úlohu, Jde prakticky o působení rostlin na půdotvorný substrát (Štýs et. al., 1981). Vlivům substrátu výsypek na vegetaci se zabývali Prach (1988) a Málková (2009). Podle nich výsypky poskytují velmi variabilní a často extrémní podmínky (teplota, pH, vlhkost, substrát) nejen pro vegetaci, ale i pro ostatní organismy. Při klíčení semen na výsypkách patří k důležitým faktorům umístění semen v půdě a vlhkost. Proto se vegetace na členitém mikoreliéfu výsypek nejrychleji a nejdříve rozvíjí v depresích (splach semen, vyšší vlhkost) a později se druhy uchycují i na vyšších místech.

Chemické složení matečného materiálu může ovlivnit modely tvorby půdy (Walker & del Mora, 2003). Podle Smolíka (1957) holocénmi a pleistocénmi písky z hlediska chemického, jako horniny minerálně slabé. Chemismus se při vývoji půd nejvýrazněji uplatňuje v souvislosti s obsahem bází, zejména vápníku a hořčíku, na jejichž množství závisí rychlost vyluhování půdy. Vedle obsahu vápníku, hořčíku a hlavních rostlinných živin draslíku a fosforu (tzv. minerální síly substrátu) – je důležitá zejména přítomnost uhličitánů jednomocných kationtů, hlavně sodíku, a lehce rozpustných solí – síranů a chloridů, které mohou způsobovat zasolení půd (Tomášek, 2003). Podle Smolíkové (1982) obsah uhličitanu vápenatého brzdí degradaci a posunuje vývoj půdního typu ve směru aridnějších poměrů. Avšak i vápenité půdy podléhají v průběhu času působení humidního klimatu a tím degradaci a destrukci.

Zásadní vliv má také pH mateřského materiálu. Walker & del Moral (2003) uvádí, že neutrální až mírně zásadité povrchy (např. vápenec) rozkládají rychleji než kyselé povrchy (např. žula) nebo velmi alkalické povrchy (např. na sodík bohaté mořské jíly), vzhledem k podmínkám, které podporují biotické, mikrobiologické zvětrávání nebo abiotické zvětrávání.

Globálně, lze řadu změn v půdních vlastnostech přímo připisovat rozdílům v mineralogii mateřného materiálu a dynamice historie Země. Například, koryto toku a související eroze svahu mohou propojit rozsáhlé povrchové geologické jednotky v základní litologii, která má odlišné mineralogické a chemické vlastnosti, a ty mají vliv na vlastnosti půdy (Sumner, 2000).

## 2. 4 TOPOGRAFIE A EROZE

Dalším činitelem ovlivňujícím charakter a stupeň vývoje půd je reliéf, který především svou konfigurací, expozicí, nadmořskou výškou a sklonem svahů ovlivňuje půdotvorné faktory, jako je podzemní voda, povrchový odtok vody, a tím i odnos půdních částic. Reliéf má také podstatný vliv na charakter vegetace (svůj význam sehrávají při charakteru pedogeneze také deprese v rovinatém i sklonitém reliéfu). Reliéf nepůsobí tedy přímo na půdotvorný proces (Pánek & Buzek, 2002). Podle Tomáška (2003) reliéf působí přímo na tvorbu půdy ovlivňováním intenzity infiltrace a hlavně však rušivě, prostřednictvím eroze a akumulace.

Svažitost terénu ovlivňuje stupeň vláh v půdě a svahový odnos. Se svažitostí vzrůstá povrchový odtok a zmenšuje se ovlhčení půdy, čímž vzniká sušší mikroklima. Na svazích je vyluhování půd vždy slabší než na rovinách. U půd na svazích má expozice podstatný vliv na půdotvorné pochody, což je podmíněno rozdílným množstvím slunečního záření (s tím i teploty a výparu), jakož i různým rozložením srážek. (Smolíková, 1982). Konkávní svahy nebo konkávní části svahu znamenají pokles sklonu svahu. Odplavením akumulací koluvií nebo sedimentů získaných ze svahu často dochází na konkávním svahu. Půdy na těchto svazích se často formují kumulativními procesy a mají silnější a málo vyvinuté horizonty ve srovnání s půdami na přilehlých vrchovinách (Sumner, 2000). Tvar sklonu, který výrazně ovlivňuje laterální pohyb vody po povrchu jako tok a vnitřní jako průtok, tím redistribuuje vlhkost přijatou od srážek a vytváří samostatné mikroprostředí v krajině. Oblasti konvergentních toků jsou vlhčí, než obecně odpovídá mikroklimatu, zatímco oblasti s



rozdílným tokem jsou sušší, než obecně odpovídá mikroklimatu. Svahový pohyb vody a půdní vláhy v krajině, následně ovlivňuje tvorbu půdy a vegetace (Sumner, 2000).

Velmi problematický je vývoj půd a uchycení vegetace na stěnách skal, kde působí eroze. Volná čelní stěna je výchoz obnaženého skalního podloží na vrchních částech kopců. Eroze je zde nejvíce aktivní. Úlomky svahu se vyskytují pod volnou čelní stěnou a skládají se z erodovaného a transportovaného materiálu z čelní stěny. Vrchol je nejvyšší část profilu svahu. Je to nejvíce geomorfologicky stabilní a méně erozivní část svahu. Hlavní směr proudění vody je směrem z kopce přes půdu a erozivní transport je zde minimální. Půdy v těchto místech vykazují největší stupeň vývoje profilu (Sumner, 2000). Vývojem půd a uchycením vegetace na lomových stěnách a následným vlivem eroze se zabývali Tichý (2006), který prováděl výzkum ve vápencovém Růženině lomu v Moravském krasu, a i Yuan et. al. (2006) v lomech jižní Číny. Vápenec v Růženině lomu v těchto místech sedimentoval na dně původních mořských pánví, a tak mají skalní stěny výrazně vrstevnatou strukturu a na mnohých místech také charakter spíše vápnitých břidlic se snadnou odlučností a rozpadavostí jednotlivých vrstev. To je příčinou nestability lomových stěn a vzniku rozsáhlých pohyblivých sutí. Tento materiál pozitivně ovlivňuje rekolonizaci vegetace na mírně sklonitých skalních terasách, avšak příkřejší skály a suťové kužely při jejich patě naopak díky neustálému osypu zůstávají dlouhou dobu zcela bez vegetace. Svahy lomů, kde většina skalních stěn v této oblasti byly nad 60°, běžně přes 70° a občas i přes 90°. To bylo obtížné pro místní zadržování půdních částic. Většina půdy byla uložena v nepravidelných dutinách, prasklinách a vzácně na plochých místech vytvořených těžbou. Vzhledem k velké erozi a odplavování půdy podél skal byly půdní částice v tomto území heterogenní s vysokým obsahem štěrku, písku a nízkého obsahu jílu, což vedlo ke špatné vodní kapacitě.

V úvahu je třeba vzít nejen sklon terénu (na svažitých terénech, např. voda do půdy nevsakuje, nýbrž odtéká povrchovým ronem), ale také expozici vůči světovým stranám (na stanovištích vůči jihu je teplota vyšší) a jiné okolnosti, jejichž spolupůsobením probíhá půdotvorný pochod velmi mnohotvárně (Smolíková, 1982). V kopcovitém a hornatém terénu, srážky a sluneční energie jsou modifikovány místní topografií. Vlhkost půdy se liší ve směru svahu, protože přerozdělení konvexních a konkávních poloh má následný dopad na typ vegetace a produktivitu (Sumner, 2000). Veliký vliv na vývoj půd má také stabilita matečného materiálu. Jen u rychle rostoucích dřevin je pravděpodobnější, že kolonizují tyto nestabilní povrchy. Vysoká produktivita rostlin zrychluje stabilizaci prostřednictvím růstu kořenů a nadzemního zachycování částic navátých větrem nebo šířených vodou (Walker & del Moral, 2003).

## 2. 5 ČAS

Čas není materiálně nebo energeticky působící a ovlivňující faktor jako např. matečná hornina, vegetace nebo podnebí. Funguje však jako zákonitě postupující, byť sama přímo neovlivňující veličina, v jejímž průběhu se uplatňují v různých kombinacích ostatní půdotvorní činitelé (Smolíková, 1987). Velmi mladé substráty jsou vystaveny působením půdotvorných činitelů jen krátkou dobu, a proto jsou na nich jen slabě vyvinuté půdy. Například na nedávno navátých, resp. odkrytých písků nebo na nedávno uloženém murovém materiálu pozorujeme pouze syrozemě (Horník et. al., 1982). Krajiny jsou dále vystaveny povrchovému zvětrávání tím více, čím je větší potenciál pro vývoj půd. Zvětrávací podmínky dobře vyvinutých a starých půd, jsou relativní ukazatelé času v tvorbě půd, ale žádný není přesný pro popis stáří. Zvětrávání se týká relativního stádia stability (Goldich, 1938; Jackson, 1968) minerálního obsahu půd. Zvětrávací stadia jsou funkcí stáří, míry zvětrávání a minerálního stadia matečného materiálu. Chronologicky mladé půdy mohou být složeny z velmi zvětralých minerálů v případě, že matečný materiál je předzvětralý (Sumner, 2000).

Půdní vývoj je tedy funkcí jak stáří, tak i rychlosti tvorby horizontu. Rychlost tvorby horizontu závisí na intenzitě půdotvorných procesů a na složení a odolnosti matečného materiálu ke změnám. Morfologicky podobné půdní profily se mohou výrazně lišit stářím (Tomášek, 2003). Burgess & Drover (1953) zjistili, že spodický horizont v Austrálii se tvoří na pláži v písčitých sedimentech od 1000 do 3000 let.

Se stářím se mění fyzické a chemické vlastnosti půd. Těmito změnami v průběhu vývoje půd se zabýval Huggett (1998) na dunách v Anglii a ukázal, že se celkový organický materiál v profilech logaritmicky zvyšuje se stářím. K nejrychlejší změně došlo v průběhu prvních 2000 let. Půdní pH pokleslo lineárně se stářím za prvních 2900 let. Prostorové rozdíly vegetace zřejmě časem ovlivnily pH a tím i pedogenezi. Huggett (1998) se také zabýval, změnami půdního vývoje na terasách ze štěrkovitých naplavenin v jižním Gread Basin ve Spojených státech. Důvodem rozdílu v půdním vývoji a terasách ze štěrkových naplavenin je změna času spojená s klimatickými změnami a s tím související změny ve vodním režimu, erozivní historii a vnitřně řízenými chemickými a fyzikálními procesy.

## 2. 6 ANTROPOGENNÍ VLIVY

Lidskou činností jsou zasaženy téměř všechny lokality na Zemi (McKibben, 1989) a mnoho povrchů podstupujících primární sukcesi jsou buď antropogenního původu anebo byly ovlivněny v různé míře lidskou činností. Povrchová těžba, kterou je dotčeno 1 % povrchu země, vytváří mnoho ploch pro primární sukcesi (Walker & del Moral, 2003).

Člověk těžbou odstraňuje vegetaci a půdu, vytváří těžební tvary reliéfu (doly, lomy) hromadí svrchní vrstvu půd, mění užité plochy na silnice a stavby (Majer, 1989). Těžební plochy se liší ve stabilitě, textuře a fertilitě (Walker & del Moral, 2003).

Člověk může zasahovat do průběhu vývoje půdy buď přímo, anebo nepřímo přes vliv na substrát, reliéf, klima nebo vegetaci (Smolíková, 1987). Nepřímé vlivy člověka na půdu se uplatňují především změnou původní vegetace a hydrologických podmínek. Odstraněním nebo narušením původního vegetačního krytu ztrácí půda přirozenou ochranu a často dochází k jevům zrychlené eroze, k významné změně hypotermického režimu půd, ke změnám ve složení struktury, humusu apod. Přímo, bezprostředně ovlivňuje člověk půdu především obděláváním a hnojením. (Horník et. al., 1982).

### 3. VÝVOJ VYBRANÝCH PŮDNÍCH ZNAKŮ A VLASTNOSTÍ V PRŮBĚHU PRIMÁRNÍ SUKCESE

#### 3. 1. FYZICKÉ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI

##### 3. 1. 1 TEXTURA

Textura povrchu je nesmírně důležitá pro uchycení rozmnožovacích částí rostlin (Walker & del Moral, 2003). Na půdách s extrémní zrnitostí převládají typická společenstva přirozené vegetace: na silně písčitých půdách je to např. ostřice písečná, trávnička, smil, metlice šedivá aj., na jílovitých např. přeslička, rákos aj., na silně štěrkovitých půdách nebo mělkých sutích, popřípadě na skalních výchozech tařice skalní, lomikámeny, osladiče, sleziníky, netřesky aj. (Smolíková, 1982).

Podle zrnitosti také lze posuzovat řadu fyzikálních vlastností zeminy, jako absolutní vodní kapacitu, propustnost zeminy, stupeň agregace aj. Rovněž hloubka provlhčení je u různých druhů půd při stejných srážkách různá, u písků největší, u jílu nejmenší, u hlín přibližně uprostřed (Smolík, 1957). Procesy formování pomocí biologických procesů se mohou významněji uplatnit ve středně zrnitých půdách nebo půdách s nízkou aktivitou půdního jílu, u kterých probíhá omezené zhušťování a bobtnání, než je tomu v případě půd jemnějších textur, které jsou zvláště citlivé na provlhčení a vysušení (Oades, 1993). U jemnějších textur mohou biologické procesy doplňovat abiotické procesy, které vykonávají hlavní kontrolu nad strukturou půdy (Somner, 2000). Vysoký obsah písku umožňuje snadnou propustnost, avšak malou schopnost zadržet vodu, podporuje intenzivní provzdušnění. Silně písčité půdy se rovněž vyznačují nízkým obsahem živin, malou sorpční schopností, dobrým a hlubokým prokořeněním a snadnou obdělávatelností (Smolíková, 1982).

Velký vliv na průběh sukcese vegetace a pedogeneze má i ulehlost povrchových vrstev hlušiny způsobených pojezdem těžké mechanizace. Na těchto místech probíhá sukcese pomaleji (Koutecká & Koutecký, 2006). Podle Tichého & Sádla (2001) vyšší stabilitu disturbovaných ploch v lomech mají sutě s drobnějšími kameny, které jsou osidlovány prvními pionýrskými rostlinami.

Například, jakmile traviny začínají kolonizovat jemné sedimenty dun a uchycením na těchto mikrostaništích zvyšují vlhkost, tím se na takto vytvořených krustách množí

sinice (Forster & Nicolson, 1981; Danin, 1991). Vázaný dusík sinic podporuje další růst rostlin a následnou tvorbu půdy (Walker & Del Moral, 2003).

Jak již bylo uvedeno výše, materiál uložený na stanovišti má vliv na strukturu povrchu a primární sukcesi. Grubb (1986, 1987) zjistil, že velikost částic substrátu do značné míry určuje, jaký typ případné dřeviny by se mohl zachytit. Také poznal, že traviny se uchycují v písčitých a prachovitých substrátech, byliny se uchycují ve štěrčích, stromy se uchycují ve skalních štěrbinách a mechorosty na exponovaných površích skal. Dlouho žijící druhy, které rostou pomalu (stromy a lišejníky), osidlují substráty s větší velikostí částic. Grubb (1986, 1987) dále zjistil, že dlouho žijící druhy kolonizují místa s nízkou hladinou vody a dostupností živin.

Drsnost povrchu představuje i jiný soubor výzev pro kolonizaci rostlin a tvorbu půdy než hladkost a struktura povrchu. Na drsném povrchu není problematické zachycení semen a organických látek, jako u lávových proudů nebo v oblasti balvanů. Klíčení a růst rostlin mohou být problematickými i v místech s vodorovnými plochami, které mají dostatek světla, zadržují vodu a podporují akumulaci organických zbytků, a dokonce i v prostoru půdních malých pórů může být kořenový vývoj omezen větším sterilním povrchem. (Walker & Powell, 1999; Walker & del Moral, 2003).

### 3. 1. 3 OBSAH VODY

Přítomnost vody je důležitá pro půdní vývoj a ovlivňuje průběh primární sukcese. Převážná většina půdní vody pochází ze srážkové vody. Pouze malý podíl půdní vlhkosti vzniká kondenzací vodní páry. Proto množství půdní vody závisí na množství a intenzitě atmosférických srážek, dále pak na reliéfu, sklonu svahů, vlivu vegetace, hydrobiologických vlastnostech půd a jejich substrátů (např. výrazné rozdíly mezi silně propustnými písčitými nebo štěrkovitými půdami a horninami oproti slabě propustným až nepropustným jílům nebo slínům atd.) a konečně na vlivech člověka (Smolíková, 1982). Voda působí jako ekologický faktor v oblasti stanovištních podmínek půdy a zároveň je pedogenetickým faktorem, protože má vliv na všechny pochody v půdě od zvětrávání přes tvorbu humusu po translokaci látek atd. (Pánek & Buzek, 2002).

Textury půd mají významný vliv na propustnost a zadržení půdní vody (viz také 3. 1. 1). Jemné textury na jílu bohaté a organické půdy zadržují nejvíce vody, ale voda zde může být méně dostupná pro kořeny a mikroorganismy, než voda v sušších, písčitéjších půdách s větší velikostí pórů (Chadwick & Dalke, 1965). Proto rostliny na dunách,

kteře nemají přístup k podzemní vodě, jsou závislé na pravidelných deštích. Růst rostlin v pobřežních oblastech je omezen negativními účinky solné mlhy (Barbour et. al., 1985). Na povrchu za postupující dunou (deflační pole) na pobřeží Polska, našla Piotrowska (1988) dvě oblasti sukcesních směrů, které se lišily hloubkou hladiny podzemní vody. Sukcese v malých (0,5 -2,5 m vysokých) vyvýšeninách písku byla mnohem pomalejší a vegetace více zakrslá než sukcese v sedle, kde byla půda vlhčí. Vliv textury byl také studován na vátých píscích, které mají homogenní textury bez kompaktních vrstev a jsou proto dobře odvodněné. Textury krytu písku jsou méně homogenní s místními středně kompaktními vrstvami, což vede ke střednímu odvodnění jednotlivých míst (Elgersma, 1998).

Podle Sumner (2000) a Killham (1994) i růst rostlin a jejich využívání vody může mít vliv na infiltraci a vznik pórů. Při růstu rostlin v existujících pórech vytvářejí kořeny tlak a napětí, které vedou k vytváření nových pórů a rozšíření těch stávajících. Kořenový vliv na póry se liší podle fáze růstu a rozkladu. Infiltrační rychlost lze snížit tím, že aktivně rostoucí kořeny vyplňují póry. Rozložení velikosti pórů je rozhodující pro zásobování vodou pro růst kořenů rostlin. V ideálním případě by půdy měly mít přiměřený počet velkých pórů, a tak usnadnit rozšiřování kořenů, ale také větší množství malých pórů (0,3 - 30  $\mu\text{m}$ ) pro udržení vody pro kořeny během období sucha.

Během relativně suchého období rostlinná evapotranspirace z rostlinného krytu vody přesahuje vstupy z dešťových srážek a tím klesá vodní potenciál půd. Výsledný deficit vodního potenciálu pro rostliny může být získán zpět v noci, kdy i nadále kořeny rostlin absorbují půdní vodu (Killham, 1994). Aby bylo zajištěno přežití rostlin v suchých půdních podmínkách, musí kořeny sahat do dostatečné hloubky a tím udržují kontakt s prostorem pórů, ve kterém je dostatek vody pro růst rostlin. Tyto vodní kapacity jsou klíčové pro rozšiřování kořenového systému (Killham, 1994).

Vztah mikroorganismů k půdní vlhkosti je zcela odlišný od vztahu rostlin. Ne všechny půdní mikroorganismy jsou tolerantní k vodnímu stresu, některé mohou žít ve více provlhčeném prostředí než většina rostlin. Půdní organismy se liší v toleranci k nedostatku vody, společně s houbami jsou obecně tolerantnější než bakterie. Aktinomycety nebo bakterie, které rostou ve vláknech připomínající houbová vlákna (hyfy), jsou nejvíce tolerantní jak k teplu, tak k suchu (Killham, 1994). Vodou nasycené půdy mohou být příliš anaerobní pro růst kořenů a mykorhizních hub, které jsou zvláště citlivé na nízké hladiny kyslíku, který je v menším množství v zaplavených půdách (Walker & del Moral 2003).

Půdní infiltrace vody obecně se zvyšuje s půdním vývojem v primární sukcesi. Kořeny rostlin a rypající zvířata zvyšují infiltraci a vyvíjející organický horizont zadržují více vody. (Walker & del Moral, 2003). Například, písčité půdy mohou mít nízký obsah vody, ale většina je k dispozici pro kořeny rostlin. Na druhé straně jílovité půdy mohou mít vyšší obsah vody, ale pro kořeny rostlin mají přibližně stejné množství vody k dispozici. Je to proto, že jílovité půdy mají více malých pórů, z nichž se voda mnohem obtížněji získává (Killham, 1994).

### 3. 1. 4 PH A KATIONTY

Substrát, půdní organická hmota, kationová výměnná kapacita a organické kyseliny, ovlivňují pH půdy (Walker & del Moral, 2003). Půdní pH obecně v průběhu primární sukcese klesá, jak se hromadí organické kyseliny. Pokles pH byl pozorován i u kyselých sopečných vyvěřelin a některých typů těžebních oblastí, které byly zpočátku velmi kyselé. Přehled 28 studií ukázal, že byl pokles pH půdy také u sledovaných ledovcových morén, říčních náplavech a na dunách významný, ale ne v těžebních oblastech a na sopkách (Walker a del Moral, 2003). Stejně tak ke snížení pH došlo na morénách v Číně, jak ukazují výsledky L. He & Y. Tang, (2008), kde minimální a maximální hodnoty pH na minerálních půdách ukázaly pokles o více než 4 jednotky v průběhu sukcese. Hodnoty pH se významně snížily z původně 8,5 na nově obnažených morénách, přes pH 6,8 pod keřovým stádiem až na hodnotu pH 4,2 v horizontu E klimaxového lesa. V rámci profilů se pH zvyšovalo s hloubkou. Frouz et. al. (2008) zjistil při výzkumu na Sokolovku, že pH půdy (jak ve vodě a KCl) klesá s přibývajícím sukcesním stářím, stejně jako obsah dostupného sodíku a vápníku. Podle výzkumu L. He & Y. Tanga (2008), s postupem sukcese vyplavování organických kyselin z rozkládajících se rostlin může způsobit postupné snížení hodnot pH půdy v sukcesních sériích. Míra poklesu se však zpomalí s vývojem půd a nakonec se stabilizuje.

Změnu půdního pH studovali ve svých pracích Koutecká & Koutecký (2006) a Šourková et al., (2005) na haldách po těžbě uhlí. Půdní reakce čerstvě navezené haldoviny bývá neutrální až slabě kyselé. Významně se zde uplatňuje příměs pyritu markazinu, který působením vody a vzduchu oxiduje na síran železnatý a kyselinu sírovou, což způsobuje silný pokles pH (Koutecká & Koutecký, 2006).

Kationová výměnná kapacita měří potenciál půdy pro ukládání a zásobování kationtů. Hodnoty kationové výměnné kapacity se obecně zvyšují v počáteční fázi primární

sukcese díky akumulaci organické hmoty. Micely nebo částice jílů hromadí záporný náboj na svém povrchu, kterým přitahují a zadržují kationty (např. Ca, Mg, Na a K). Vázané kationty na povrchu se hůře vyplavují než volné kationty v roztoku, odkud mohou být převzaty kořeny (výměnou za jiné kationty; Walker & del Moral, 2003). Vyplavování kationtů (hlavně Ca) v průběhu sukcese bylo prokázáno také, v Hailuogou Glacier, S'-čchuan na jihozápadě Číny (L. He & Y. Tang, 2008). Naopak na Balsa Rosa pod travinami (*Lygeum spartum*) se významně zvýšily hladiny Ca a K ve srovnání s přirozenou půdou. To mohlo být v důsledku zvýšení půdní kationové výměnné kapacity, která vyplývala z hromadění půdní organické hmoty s vysokým obsahem sloučenin ligninu (např. guaiacols a syringols) a která ovlivnila jejich vazbu, a tím se jich méně vyplavilo (Ottenhof et. al., 2007).

Temporální vývoj kationtů a aniontů byl nedostatečně zkoumán během primární sukcese (Walker & del Moaral, 2003). Matthews (1992) nezjistil žádné temporální modely změn pro Al nebo Fe na ledovcové morény. Chadwick et. al. (1999) naopak zjistil, že všechny kationty poklesly během dlouhé Havajské chronosequence (4,1 milionu let), Al není vyluhován tak rychle, jako Mg nebo Ca. Přesto Ca někdy vzroste během chronosequence.

Dostupnost živin je silně spojena s pH a kationovou výměnnou kapacitou, protože prvky, jako je fosfor (P) je nedostupný při nízkém pH (fixní jako hydratované oxidy Al a Fe), nebo při vysokém pH (fixní jako fosforečnan vápenatý; Walker & del Moral, 2003). Absence kationtů a vysoký H (a často Al) koncentrace jsou toxické pro mnoho druhů rostlin (Foy, 1984). Také acidifikace půd má tendenci nepříznivě ovlivňovat rostliny prostřednictvím zvýšení dostupnosti hliníku a také manganu (Killham, 1994).

Mikrobiální rozklad organické hmoty má také tendenci zvyšovat kyselost půdy přes produkci organických kyselin. Toto obvykle nastane za mokra v anaerobních podmínkách, kde fermentační mikroby v půdě vyrobí řadu organických kyselin, včetně kyseliny octové, mléčné, mravenčí, máselné a kyseliny propionové z rostlinných zbytků. Tato situace nastává v mnoha rašeliništích a v lesní půdě, kde se hromadí kyselý opad (Killham, 1994).

Mikrobiální oxidace amoniaku na dusitany (část procesu nitrifikace), je další okyselující biologický proces. Tento proces, obecně není silně kyselinotvorný v přirozených podmínkách, je spojován pouze s výrazným posunem pH půdy po vstupu amonných hnojiv nebo hnoje, nebo v slabě vyvinutých písčitých půdách (Killham, 1994). Stejně jak půdní houby, tak i půdní živočichové mají obecně poměrně nízké požadavky na pH. V kyselých půdách (pH pod 5), jako jsou jehličnaté lesy a rašelinné půdy, kde kyselosti



brání přítomnosti žížal, jsou tyto obvykle nahrazeny roupicovými červy tolerantními na vyšší kyselost. Absence žížal v kyselých půdách, například přispívá k zajištění nepřítomnosti velké populace krtků, neboť žížaly jsou jeho primární kořistí (Killham, 1994).

### 3. 1. 5 Dusík

Dusík (N) často omezuje čistou primární produkci a pravděpodobně i růst zvířat (Walker & del Moral, 2003). Pokud dojde k omezení činnosti mikroorganismů produkujících polyfenoloxidázy, jako se to děje vlivem znečištění ovzduší (v Krkonoších byly v dobách s vysokým kyselým spadem výrazně potlačeny kloboukaté houby), může dojít k zablokování cyklu dusíku a příznakům deficiencie tohoto životně důležitého prvku, a to i v případě, kdy se uplatňuje jeho atmosférická depozice (Kovářová, 2006).

Akumulace celkového dusíku byly poměrně dobře studovány v primární sukcesi. Celkový půdní N se obecně zvyšuje během primární sukcese, ve spojení s půdním C (De Kovel et. al., 2000). Walker (1993) ve 20 studiích měřil celkovou akumulaci N, data byla odebrána na povrchu v minerálních půdách během primární sukcese. Tyto studie ukázaly, že akumulace byla nejvyšší v prvních 50-200 letech. Také další studie ukazují vliv rostlin na množství dusíku. Celkový obsah N v půdě v přírodních lokalitách pod kavylovcem tuholistým (*Stipa tenacissima*) v Rambla Gorguel ve Španělsku v Kolrdileře Bétice byl vyšší, než v půdách pod borovicí halepskou (*Pinus halepensis*) v Portman Bay. Celkový obsah N v nezarostlých místech se významně neliší od spontánně zarostlých míst (Ottenhof et. al., 2007).

Intenzita mineralizace (přeměna organické hmoty na anorganickou) a nitrifikace (přeměna amoniaku na dusitany a dusičnany) zpravidla zůstává stabilní anebo se zvýší během primární sukcese současně s akumulací organické hmoty (Matthews, 1992). I v lesích se mineralizace zdá být nepřímo úměrná k poměru ligninové celulóze: N (Binkley & Giardina, 1998).

Mineralizace dusíku při rozkladu a jeho imobilizování mikrobiální činností vede ke zvýšení absolutního množství dusíku v opadu (Coleman & Crossley, 1996). Přenos dusíku prostřednictvím mineralizace v půdě je mnohem méně efektivní, než translokace v rámci symbiotického společenství nebo přesun mezi symbiotickými asociacemi a dalšími rostliny prostřednictvím přímého propojení s mykorhizou (Killham, 1994). Pouze několik bakterií je schopno nitrifikace a fixace atmosférického

N na amoniak (viz 3. 2. 1; Walker & del Moral 2003). Ztráty N byly největší tam, kde rostlinná biomasa byla minimální, což naznačuje, že rostliny mají svou roli v ukončení eroze a zachování N a dalších živin. K nadměrnému vyplavování N do spodních vod může dojít v důsledku vysoké úrovně srážek nebo kyselých podmínek půd (Walker & del Moral, 2003).

V sukcesi vegetace a vývoji půd hrají důležitou roli fenolické látky coby produkty fotosyntézy. Různé druhy rostlin (dřevin) je produkují v různém množství i kvalitě, čímž spolu s dalšími faktory podmiňují zejména hospodaření s živinami a ovlivňují směnu druhů i půdotvorné a geochemické procesy. Vysokou schopnost udržet ve svém opadu dusík prokázala bříza, což ji mezi pionýrskými druhy sukcese řadí na přední a stěží zastupitelné místo. Zvláště obnova narušených stanovišť s nepříznivými vegetačními podmínkami by s ní měla počítat jako s klíčovou dřevinou (Kovářová, 2006).

Retence dusíku závisí na mnoha fyzikálních, chemických a biotických proměnných. Organická hmota zachytí N na povrchu půdy v částicích jílu nebo rostliny odebírají dostupné formy půdního N pro růst a reprodukci a zvířata recyklují N ze živých a mrtvých částí rostlin a z ostatních živočichů. Dusičnany, které se snadno vyplaví, mohou být přeměněny z amonného iontu pomocí redukce dusičnanu, čímž se zamezí úbytku N ze systému. Úbytek dusíku nastává převážně vyplavením, denitrifikací nebo disturbancí, jako je eroze (Walker & del Moral, 2003).

### 3. 1. 6 FOSFOR

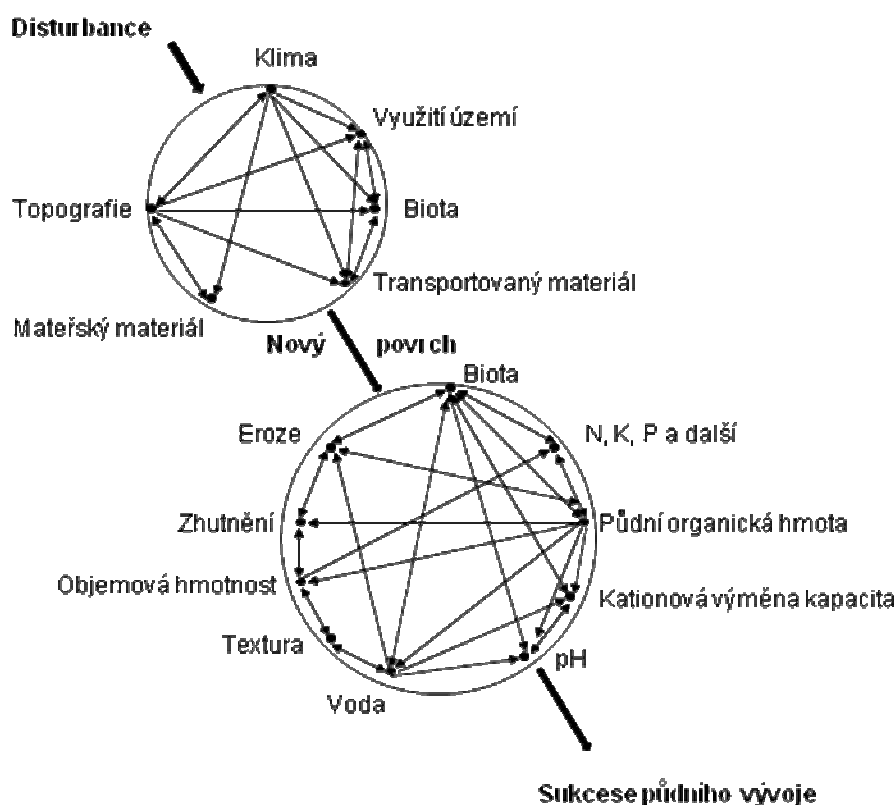
Fosfor (P) je poskytován především zvětráváním hornin bohatých na fosfát, je nejvíce k dispozici okamžitě po narušení jako je vyzdvižení nebo jiné exponování těchto hornin. Dostupnost P pro využívání rostlin závisí na typu nebo podílu P ve vodě následující neokludované a okludované formy P, které jsou méně dostupné a vázané s Ca (podle alkalicity) nebo Fe a Al (v kyselých podmínkách; (Walker & del Moral, 2003).

Hlušina obsahuje určité množství fosfátu, který je důležitou živinou pro rostliny podle Down (1975). Analýzy fosfátu v těžebních odpadu vyplývá, že povrch hlušiny měl počáteční ztrátu poloviny z jejich vodou rozpustného fosfátu, následovalo postupné oživení v průběhu celého časového horizontu. V hlušině stáří od 5 do 178 let vzorky z hloubky 10 a 20 cm vykazovaly poněkud vyšší obsah fosforu než na povrchu (Down, 1975). Další analýzy podle Down (1975) provedené na pětiletých výpěrkových odpadech ukazovaly, že hladina fosfátů tohoto středního poklesu v

rozsahu 17,7-21,3  $\mu\text{gP/g}$  půdy, je nepatrně nižší, než je obvyklé u pětiletých odvalů. Naopak, analýzy dvanáctiletých odvalů v místech, kde byla stojatá voda, vykazovaly vysokou úroveň fosfátu, což je srovnatelné s pětapadesátiletými odvaly. Ohořelé odvaly 12 let staré měly nižší obsah fosforu, než je obvyklé u takto starých odvalů. Podle Frouz et. al. (2008) v uhelných lomech na Sokolovsku nárůst obsahu vodou rozpustného fosforu byl výrazný zejména v pozdních fázích sukcese.

### 3. 2 PŮDNÍ PROCESY

V této části se budu zabývat výběrem dvou procesů, které jsou zásadní pro vývoj půd v primární sukcesi, fixaci dusíku a hromadění půdní organické hmoty. Formování půdy je výsledek mnoha souvisejících proměnných, jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách (viz obr. 1).



Obr. 1: Interakce faktorů, které ovlivňují vývoj půdy. Šipky mimo kruhy ukazují čas a šipky uvnitř kruhu ukazují vlivy.

Zdroj: Převzato z knihy Walker a del Moral (2003).

#### 3. 2. 1 FIXACE DUSÍKU

Nejdůležitější je atmosférický dusík (N), který ze vzduchu přechází do půdy zásluhou organismů schopných vázat tento prvek. I když vstupy dusíku do půdy se dostávají pomocí fixace jako jeden z oxidů dusíku v atmosféře elektrických výbojů, zdaleka největší podíl suchozemské fixace dusíku je prováděn biologicky (Killham, 1994).

Biologické fixace dusíku jsou velmi složité. Půdní faktory, které ovlivňují rychlost a formu biologické fixace N, jsou půdní pH, zásobování dostupného uhlíku pro heterotrofní organismy a stav kyslíku pro některé anaerobní bakterie. Čtvrtý faktor, který silně řídí biologické fixace N<sub>2</sub> v půdě je zásoba dostupného dusíku. Půdy s vysokou zásobou dusíku neposkytují vysokou míru fixace, a to buď symbiotickou, nebo nesymbiotickou. Energetické náklady na fixaci jsou vysoké. Biologicky fixovaná forma dusíku je důležitý zdroj pro příjem dusíku rostlinami. Půdní dusík je mnohem lépe dostupný přes kořeny nebo buňky bobovitých rostlin a Azotobakteriemi, než dostupný atmosférický dusík (Killham, 1994). Pohyb dusíku a uhlíku v okolí rostlin spolu úzce souvisí. Jiné rostliny než bobovité mohou získat pouze přístup k tomuto dusíku při vázání dusíku na odumřelé organismy a na rozkládající mikroorganismy v půdě (Killham, 1994).

Významnou roli ve fixování dusíku mají bakterie rodu *Rhizobium*, které fixují N<sub>2</sub> především v hlízkách kořenů bobovitých rostlin a aktinomycety rodu *Frankia*, také mají schopnost vázat dusík (Killham, 1994). Fixace na obilí a na krmné bobovité rostliny tvoří jednoznačně nejvýznamnější součást příspěvku, což umožňuje půdní cyklus N, vstupy jsou však relativně malé v porovnání s přidáváním hnojiva (Killham, 1994). Aktinomycety rodu *Frankia* upevňují N<sub>2</sub> v uzlinách kořenu krytosemenných rostlin, které nejsou bobovité, jako je olše (*Alnus glutinosa*; tyto asociace jsou často označovány jako aktinorhiza; Killham, 1994). Přítomnost bobovitých druhů rostlin nebo aktinorhizních rostlin (ty jsou potenciálně napadeny Frankií) nezaručuje dostupnost zdrojů N (Walker & del Moral, 2003). *Frankia* může přežívat bez hostitelů cévnatých rostlin, které se jeví jako více schopné vytvářet hlízy ve starších, více úrodných půdách (Burleigh & Dawson, 1994). Rozptýlení bakterií *Rhizobium* nebo *Frankia* na nově disturbovaných místech se nejeví, jako omezení vývoje brzké sukcese podél řek (Huss-Danell et. al., 1997) a ani na novém sopečném popelu (Vitousek & Walker, 1989).

Nepatrné snížení dostupného P nebo pastvy může diferenčně omezit nárůst vázaného N ve srovnání s nevázaným (Vitousek & Field, 1999). Rychlost fixace N se snižuje u starších rostlin nebo v půdách v pozdějších fázích sukcese, případně kořenovými býložravci jako jsou hlístice (Oremus & Otten, 1981).

Další zajímavost zjistil Walker (1993) ve zkoumaných stanovištích, byla zjištěna změna množství vázaného dusíku. Vázaný cévnatý dusík se vyskytoval v hojné míře na ledovcových morénách a v bahenních proudech, a v nejmenší míře na sopečných a skalních výchozech. Střední hodnoty vázaného dusíku byly na vytěžených půdách, sesuvech půd, na náplavech a na dunách.

Formy života vázaného N budou pravděpodobně kolonizovat různé substráty (Walker & del Moral, 2003). Grubb (1987) zjistil, že dřeviny kolonizují pukliny skal, byliny kolonizují štěrky, zatímco trávy kolonizují prachové silty. Zdá se, že toto zobecnění neplatí pro vázaný N v primární sukcesi, podle Walker (1993, 1999 b) mnoho dřevin, které vážou N, kolonizují nivní silty. Také, Walker (1993) našel mnoho druhů bobovitých bylin v říčních náplavech (štěrk) i na dunách (štěrk); bobovité dřeviny byly více či méně rozděleny rovnoměrně v těžebních oblastech (štěrk, skalní praskliny), sopkách (skalní praskliny) a nivách. Většina druhů nebobovitých rostlin, které vážou N, nacházejí se na nivách a ledovcových morénách (naplaveniny, štěrk).

### 3. 2. 2 ORGANICKÝ MATERIÁL

Rostlinná fixace uhlíku a dekompozice pevného C mikroorganismy řídí akumulaci půdní organické hmoty, bez které by se půda jinak nevyvíjela. Hlavní vstupy organické hmoty do půdy je především poskytován vegetací, rostlinným opadem a kořenovými výpotky (Šourková et al., 2005; Walker & del Moral, 2003). Vstupy z rostlinného opadu jsou pozitivně korelovány s produktivitou. Vstupy C jsou také ovlivněny rychlostí listového a kořenového obratu, protože kořenové výměšky jsou důležitým zdrojem C. K akumulaci opadu dochází, jsou-li vstupy vyšší než výstupy. Extrémní příklady akumulace se vyskytují v podmáčených a chladných podmínkách, jejichž výsledkem jsou hluboké vrstvy rašeliny. Části zvířat (chlupy, výkaly, rohoviny, odumřeliny) obvykle nejsou primární zdroj opadu (Walker & del Moral, 2003). Na odpadech v solných lomech dochází k nepřetržitému přidávání půdní organické hmoty z rozkladu kořenů, listů a jiného rostlinného materiálu, tím se podporuje formování půd, což následně prospívá rostlinám a mikroorganismům. V příznivém prostředí půdy nakonec (mikro-) organismy (např. bakterie, houby, mezofauna) kolonizují vytěžené plochy a mohou iniciovat další půdní procesy, včetně rozkladu, biogeochemické transformace minerálů a cyklus živin. S časem se může očekávat tvorba dobře rozvinutého Ah horizontu na povrchu těžebních odpadů (Ottenhof et. al., 2007).

Množství a kvalita půdní organické hmoty působí na růst rostlin, zejména prostřednictvím jejich vlivu na dostupnost vody a živin. Rozdíly v kvalitě opadu mohou měnit tvorbu půdy dokonce i ve stejném původním substrátu (Walker & del Moral, 2003). Velmi odlišné půdní profily vidíme na dunách v Nizozemsku. Jiný profil byl shledán na dunách s přírodními lesy topolů (vyšší rozklad, bez formace podzolů), než

dun, kde byly vysázeny borovicové lesy, a to za pouhých 80 let (Wandenaar & Sevink, 1992). Podle Elgersma (1998) jsou rozdíly ve formování humusu připisovány různému složení rostlinných druhů. K tvorbě organické půdní hmoty přispívají dřeviny, které jsou tolerantní k vysokému podílu solí v půdě v lomech. V těchto lomech na Balsa Rosa travinám (*L. spartum*) bude trvat 120 let, než dosáhnou úrovně organického C jako v přírodních lokalitách. V oblasti Portman Bay mohou zakořeněné pionýrské druhy slanorožce (*S. ramosissima*) bezprostředně po uzavření lomu v roce 1990 potenciálně zvýšit obsah C za 30 let. Stejný odhad platí pro rákos obecný (*P. australis*) ve stejné studované oblasti (Ottenhof et. al., 2007).

Vliv na akumulaci organické hmoty mají různé místní podmínky. V dunách, kde dochází k odvanutí a ztrátě původní půdní organické hmoty, se zpomaluje rychlost akumulace více než v původních lesních porostech (Walker & del Moral, 2003). Kvalita půdní organické hmoty může být také citlivá na místní podmínky, pod rákosem obecným (*Phragmites australis*) na Balsa Esperanza mají půdy nižší poměr C / N, než v lomech Portman Bay. To by mohlo být z důvodu rozdílných půdních podmínek, jako je vysoké pH nebo vysoký podíl solí a obsah těžkých kovů v půdě (Ottenhof et. al., 2007). V průzkumu Walker & del Moral (2003) u 14 primárních sérií bylo zjištěno, že hodnoty půdního organického materiálu na povrchu minerálních půd byly původně mnohem menší než 5% a ani se podstatně nezvyšovaly po 60 letech od narušení.

Různé druhy vegetace ovlivňují rychlost rozkladu, tím se zabývali Šourková et al. (2005), Frouz et al. (2001) na hlušině v uhelných lomech. Opad olše s nízkým poměrem C / N a nízkým obsahem ligninu se rozkládá rychleji než jehličnatý opad, který má vysoký C / N a ochranný vosk na povrchu jehličí, tím je rozklad obtížnější (Šourková et al., 2005). Zasazená olše (*Alnus*) na hlušině, která má rychlejší rozklad (například v blízkosti Sokolova), se zdá být vhodnější pro kolonizaci půdní bioty ve srovnání s hlušinou, na které byla vysázena borovice (například v blízkosti Chotěbuzi), jak bylo navrženo podle Frouz et al. (2001).

Dalším místem, kde byla studována primární produktivita, byly morény. Severoamerické morény mají ve vlhkém pobřežním podnebí vysokou primární produktivitu, což jsou příznivé podmínky pro rozklad (Walker & del Moral, 2003). Akumulace organického uhlíku se na morénách zvyšovala postupně s půdním vývojem, ale akumulací sazby se snižovaly logaritmicky s půdním věkem (L. He & Y. Tang, 2008). S rostoucím sukcesním stářím produkce humusu a obsah živin v něm v lokalitě stoupají. To je způsobeno významným vzrůstem v produkci bylinné a dřevní biomasy v pozdějších sukcesních stádiích, která se poté mění v organickou půdní hmotu (Valoušková, 2010). Frouz et al. (2008) mikrostrukturní analýzou odhalili, že

aktivita živin, především promíchávání organických a minerálních vrstev, hraje hlavní roli v uspořádání celé humusové vrstvy a celkovém rozložení dostupných živin pro rostliny.

Obnova živin určuje rychlost rozkladu a tím má i vliv na akumulaci půdní organické hmoty, půdní vývoj a rychlost sukcese. Různé faktory ovlivňují rychlost rozložení opadu. Mezi ně patří vlhkost, teplota, poměr C : N, obsah ligninu, velikost opadu a stupeň uložení, ale důležité jsou také interakce mezi destruenty (Walker & del Moral, 2003). Zvýšení rychlosti rozkladu může vést ke zvyšování vyplavování živin a pomalejšímu vývoji půd na dunách v Nizozemsku (Sival & Grootjans, 1996).

Místa, která jsou chudá na primární produkci, jsou také obecně chudá na rozklad, což vede k hromadění nerozložené organické hmoty na povrchu půdy a pomalejšímu vývoji půd (Walker & del Moral, 2003). Tloušťka organického půdního profilu je důležitá v mladších fázích, ve starších fázích již není uváděna jako rozlišovací parametr. V mladších fázích se zvyšovala tloušťka organického půdního profilu, která představovala stále větší množství organické hmoty, a byla více či méně stabilní ve starších fázích (Elgersma, 1998).

Rostliny, které produkují opad, který se pomalu rozkládá, pomocí toho zachovávají živiny, které jinak ztrácejí během primární sukcese. Jeden dobrý příklad je kapradina (*Dicranopteris*), která kolonizuje mnoho vážně narušených stanovišť v tropech, včetně lávových proudů na Havaji (Russell & Vitousek, 1997). Opad také hostí bakterie, které vážou dusík, Russell & Vitousek, (1997) však zjistili, že fixace N byla soustředěna na některých místech, kde celkové příspěvky vázaného N nepřekročily vstupy N ze srážek na Havaji. Grubb (1986) zjistil, že druhové složení pionýrské vegetace je závislé na zásobování živinami spíše než vodou. Během sukcese ve štěrkopískovných nahromadění organických látek vedlo k zvýšení obsahu dusíku a k zadržení kapacity vody (Borgegård, 1990). Nakonec, opad často zůstává nad úrovní povrchu a zabrání dekompozičnímu kontaktu s rozkladači a dochází k dalšímu zpoždění rozkladu (Walker & del Moral, 2003).

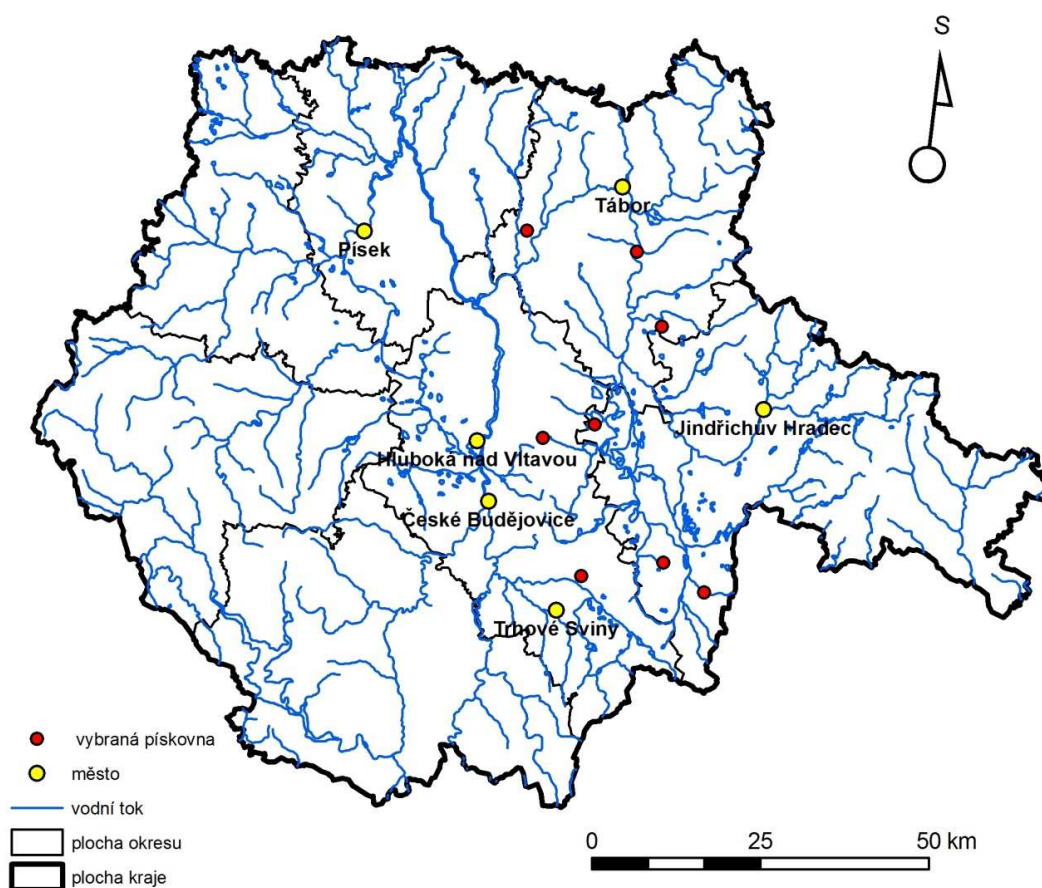


## 4. VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO ÚZEMÍ

### 4. 1 VYMEZENÍ ÚZEMÍ

Vývoj půd v primární sukcesi v pískovnách byl sledován ve vybraných pískovnách v Jihočeském kraji.

Pro mou práci byly vybrány pískovny, které byly ponechány spontánní sukcesi. Mým záměrem bylo sledovat vliv stáří, které bylo odvozeno od sukcesního stáří vegetace, na tvorbu půd. Z uzavřených pískoven jsem vybrala pouze ty, které nebyly v celém rozsahu rekultivovány. Vymezení sledovaného území zachycuje Mapa 1.



Obr. 2: Poloha vybraných pískoven v Jihočeském kraji

Zdroj: Data ArcČR

**Vybrané pískovny (zdroj: [www.calla.cz](http://www.calla.cz); viz přílohy 1 - 8):**

Pískovna Dobronice u Bechyně – nachází se v lese – 1 km západně od obce Dobronice u Bechyně, u silnice Bechyně – Opařany, její rozloha je 3,5 ha.

Pískovna Kolný – nachází se v okrese České Budějovice v lese - 0,5 km severně od obce Kolný, rozloha činí 3,5 ha.

Pískovna Lžín – nachází se v okrese Tábor 1 km západně od obce Lžín, jižně od silnice Lžín – Přehořov, rozloha je 0,5 ha. Jedná se o mělkou pískovnu, která je na dně z větší části porostlá náletem borovice lesní (*Pinus sylvestris*). V mladších částech pískovny se dosud sporadicky těží písek a nachází se zde jedna větší tůň, která ovšem v letních měsících často vysychá.

Pískovna Lesů ČR – Cep – nachází se v lesních porostech vpravo od silnice III. třídy Cep-Majdaléna, cca 2,5 km východně od centra obce Cep, 250 m SV od rybníka Nový u Cepu, rozloha činí 2, 25 ha. Ochranné statuty: CHKO Třeboňsko (II. zóna), Ptačí oblast Třeboňsko, Lokální biocentrum ÚSES.

Pískovna Záblatí – nachází se v lese 1,5 km jihozápadně od obce Záblatí, u silnice Záblatí – Mazelov, rozloha 1,5 ha. Ochranný statut: Chráněná krajinná oblast Třeboňsko. V pískovně se občasně těží terciární až pleistocénní světle rezavě hnědé štěrkopísky, jejichž ložisková hloubka se pohybuje od 1 do 4 metrů (zvětšuje se směrem k severovýchodu). Pod nimi se nacházejí bělavě, žlutavě a červeně zbarvené jílovité písky klikovského souvrství křídového stáří. Pískovna má rozsáhlé plochy s iniciálními stadii sukcese.

Pískovny u Žemličky – nachází se vpravo u silnice spojující Hlubokou u Borovan a Jílovice, asi 1, 5 km od obce Hluboká u Borovan.

Pískovna Hůrka – leží mezi obcemi Roudná a Skalice na jihu a městem Planá nad Lužnicí na severu. Při východním okraji území ložiska vede silnice I. třídy České Budějovice - Tábor - Praha a souběžně s ní i železniční trať mezi stejnými městy.

## 4. 2 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Zkoumané pískovny se nachází na území Jihočeského kraje, převážně v oblasti jihočeských pánví. Nacházejí se mezi městy Tábor, Písek, Hluboká nad Vltavou, České Budějovice, Trhové Sviny a Jindřichův Hradec.

### **Geomorfologie:**

Sledované pískovny leží podle Balatka a Kalvoda (2006) ve dvou geomorfologických subprovinciích. V Šumavské subprovincii leží minimum pískoven, nacházejí se jen v celku Novohradské podhůří (podcelku Stropnická pahorkatina). Ve druhé Českomoravské subprovincii se nachází převážná část sledovaných pískoven, a to v geomorfologických celcích Třeboňská pánev (podcelky Lomnické pánev, Kardašovořečická pahorkatina a Lišovský práh) a Tábořská pahorkatina (podcelky Písecká a Soběslavská pahorkatina). Obecně se pískovny nacházejí jak v Třeboňské tak i Českobudějovické pánvi, proto budu popisovat i Českobudějovickou pánev.

Členitá Tábořská pahorkatina v povodí Vltavy, Lužnice a Otavy je jediným celkem Středočeské pahorkatiny, který leží celý ve sledovaném území. Tento geologický celek je tvořen převážně granitoidy středočeského a moldanubického plutonu a moldanubickými horninami s vložkami permských a denudačními zbytky svrchnokřídových a neogenních sedimentů na zarovnaných površích, s erozně denudačním, místy tektonicky porušeným georeliéfem s hluboce zaříznutými údolími řek. Tábořská pahorkatina je členěna na dva geomorfologické podcelky, na Píseckou pahorkatinu na západě a Soběslavskou pahorkatinu na východě (Albrech et. al., 2003).

Většina pískoven se nachází v jihočeských pánvích, což jsou ploché sníženiny, jen při okrajích a na rozvodích mírně zvlněné. Severozápadně od Českých Budějovic se rozkládá menší, níže položená, hlubší a výraznější pánev Českobudějovická, v širším okolí Třeboně rozsáhlejší, avšak méně výrazná pánev Třeboňská. Obě pánve odděluje asymetrická hrást' Lišovského prahu vytvořená v pliocénu geotektonikou. Českobudějovická pánev je směrem JV-SZ protažená, 4-13 km široká a 72 km dlouhá tektonická sníženina, omezená zejména v jihovýchodní části výraznými zlomovými svahy. Člení se na dva geomorfologické podcelky, na rozsáhlejší pánev Blatskou na jihovýchodě a menší Putimskou pánev na severozápadě. Více než 60 km dlouhá a 16-24 km široká tektonicky podmíněná Třeboňská pánev, rozkládající se na moldanubických horninách, permnských, seinských a neogenních sedimentech, je členěna na tři geomorfologické podcelky. Vedle Lišovského prahu je to v její západní

části ploché akumulční pásmo Lomnické pánve a na východě o 30 – 50 m vyšší stupeň nízkých vyvýšenin Kardašověčické pahorkatiny, která tvoří předpolí pahorkatinného georeliéfu Českomoravské vrchoviny (Albrecht et. al., 2003).

Dalším celkem, kde se vyskytují pískovny, je celek Novohradské podhůří. Je tvořen převážně málo členitou vrchovinou, místy s okrsky pahorkatin, se zbytky několika úrovní plošin na rozvodích v nadmořských výškách 450 – 530 m a několika nevelkými sníženinami a kotlinami (Albrecht et. al., 2003).

### **Vývoj georeliéfu:**

Horninotvorný podklad byl silně zvrásněn a jako celek vyzdvižen při variské orogenezi, kdy byly zároveň prostoupeny rozsáhlými hlubinnými granitoidními tělesy moldanubického a středočeského plutonu. Ve třetihorách v oligocénu byl zaplaven mořem z alpsko-karpatské předhlubně.

Na počátku mladších třetihor se začíná podnebí ochlazovat, stává se sušším a současně začíná stále výrazněji působit geotektonika vedoucí k vývoji vlnovitých prohýbů zemského povrchu o velké amplitudě, megaantiklinál a megasynklinál. Megasynklinála jihočeských sníženin, jejíž osa probíhá zhruba směrem JV-SZ od Českých Velenic přes České budějovice a Strakonice k Horažďovicům, sleduje starou poklesou oblast, která byla sedimentačním prostorem již od konce druhohor. Vývoj této megasynklinály byl provázen vznikem již dříve založených kerných struktur, čemuž nasvědčují četné podélné i příčné zlomy, které ohraničují příkopové propadliny Českobudějovické a Třeboňské pánve (Albrecht et. al., 2003).

Tektonicky založené jihočeské pánve byly odvodňovány směrem k jihu a jihovýchodu a občas také zaplavovány vodou mělké mořské transgrese až do konce pliocénu. Tehdy došlo k jejich dalšímu výraznému poklesu vůči okolí, k rozsáhlé denudaci a odnosu nejsvrchnějších neogenních vrstev a vznikl výrazný průlom z Českobudějovické pánve k severu do nitra Čech údolím dnešní Vltavy pod Hlubokou nad Vltavou. Erozním působením vodních toků, zejména Vltavy, Lužnice, Malše, zčásti také Lomnice, Volyňky a některých dalších vznikla v zarovnaném pahorkatinám georeliéfu morfologicky výrazná hluboko zaříznutá údolí. Modelace širokých říčních údolí byla zavšena v širokém časovém období od svrchního pliocénu po dnešek tvorbou různě mocných štěrkových akumulací, vytvářejících více či méně zřetelné terasové stupně (Albrecht et. al., 2003).

V suchém a mrazivém klimatu posledních ledových dob byly v závětrných polohách níže položených oblastí jihočeských pánvích navátý nehluboké sprašové pokryvy, jen zřídka dosahující mocností přes 10 m. Würmského stáří jsou menší pískové přesypy v povodí Lužnice a Nežárky (dnešní PR Písečný přesyp u Vlkova, PP Slepíčí vršek) vzniklé vyvátím jemnějších frakcí písku z třetihorních a čtvrtohorních štěrkopísčitých sedimentů (Albrecht et. al., 2003).

### **Geologie:**

Sledované pískovny se nacházejí v Moldanubiku, které je budováno silně regionálně přeměněnými horninami a hojnými granitoidními vyvřelými horninami. V centru vznikly dvě rozsáhlé sníženiny Českobudějovická a Třeboňská pánev.

Mocnost křídových a terciérních sedimentů Českobudějovické a Třeboňské pánve dosahuje v tektonicky založených příkopech v nejhlubších částech pánví 400 m. Nejstarším členem výplně pánví je svrchnokřídové (seinské) klikovské souvrství, které pokrývá daleko největší území a dosahuje největších mocností. Ve stratigrafickém sledu následuje oligocénní lipnické souvrství a v jeho nadloží řada miocénních jednotek – zlivské, mydlovarské a domanínské souvrství. Do pliocénu řadíme ledenické souvrství a sedimenty s přemístěnými vltavíny. Nejvýznamnější je souvrství mydlovarské, které zaujímá zhruba čtvrtinu povrchu obou pánví, jeho mocnost je kolem 60m a jeho složkami jsou mimo jiné uhelné jíly, lignit, diamantové jíly a křemelina (Albrecht et. al., 2003).

Kvartérní sedimenty zahrnují jednak holocenní povodňové hlíny rozšířené v říčních údolích ve formě jemných jílovito-hlinitých písků, jednak pleistocenní štěrkopísčité uloženiny terasových stupňů, v poměrně velkém měřítku těžené na jižním Třeboňsku. Východně od Suchdola nad Lužnicí jsou smíšeny s hlinitopísčitým deluviem žul a rul a tvoří pokryv okolního krystalinika o mocnosti kolem 1 m na značně velkých plochách (Albrecht et. al., 2003).

### **Klima:**

Pro vybrané lokality je určující poloha v mírném klimatickém pásmu střední Evropy geomorfologická členitost území a expozice terénu vůči převládajícímu proudění vzduchu. Podle klimatologické rajonizace (Quitt, 1971) patří do mírně teplé klimatické oblasti. Nejteplejší jsou nejnižše položená místa, zejména jihočeské pánve, kde

průměrná roční teplota vzduchu dosahuje 7,5 až 8,0 °C. Příznivé podmínky pro vytváření rozsáhlých a často vícedenních inverzí se značnými teplotními rozdíly nastávající v zimě. V jihočeských pánvích bývá v průměru asi 110 mrazových dnů za rok. První mrazy se dostavují většinou začátkem října, poslední připadají na konec dubna.

Charakteristickým rysem atmosférických srážek je jejich značná proměnlivost. I v nejvlhčích oblastech je v některých měsících aktuální srážkový úhrn nižší než 10 mm a naopak - i v sušších oblastech přesáhnou úhrny v některých měsících 200 mm. Část atmosférických srážek padá ve formě sněhu. V nižších polohách přichází první sněžení zpravidla v listopadu a sněhová pokrývka se udržuje v průměru asi v 50 dnech za zimní sezonu. Průměrná roční doba trvání slunečního svitu činí v jihočeských pánvích přibližně 1500 hodin, kde je zejména na podzim a v zimě sluneční svit za inverzních situací omezován mlhami. Nad sledovaným územím převládá západní proudění, v přízemní vrstvě atmosféry jsou však směr i rychlost větru ovlivněny orografií. Rychlost větru v Jihočeských pánvích se pohybuje kolem 1 m/s (Albrecht et. al., 2003).

### **Hydrologie:**

Převážná většina zájmového území patří k povodí Vltavy, pouze menší východní část okresu Jindřichova Hradce s Moravskou Dyjí náleží k povodí Moravy. Jihozápadním, jižním a jihovýchodním okrajem jihočeského regionu prochází hlavní evropské rozvodí mezi úmořími Severního a Černého moře.

Nejvýznamnějším tokem regionu je Vltava, nejdelší řeka na území České republiky. Hlavní přítoky Vltavy jsou pravostranné Malše a Lužnice a levostranná Otava. Povodí Malše je asymetrické, oba její větší přítoky ústí z pravé strany. Stropnice se k Malši připojuje jižně od Doudleb a kromě severní části Novohradských hor odvodňuje také jižní okraj Třeboňské pánve. V oblasti středního a horního toku se místy zachovaly terciérní jezerní a říční sedimenty, jejichž různá výšková poloha je často výsledkem mladých tektonických pohybů (Balatka & Sládek, 1962). V okolí Českých Budějovic jsou zachované svrchnopliocénní terasy Vltavy tzv. korosecké a kamenoujezdské štěrky a štěrkopísky s obsahem přemístěných vltavínů, nacházející se 80 – 110 m nad dnešní hladinou řeky (Albrecht et. al., 2003).

Lužnice má silně asymetrické povodí, naprostá většina větších přítoků se vlévá zprava. Odtokový režim povodí Lužnice značně poznamenal člověk (převody vod mezi dílčími povodími, redistribuce odtoku během roku – akumulace vody v rybnících, nárazové

vypouštění). V oblasti Třeboňské kotliny jsou průběžně vyvinuty dvě pleistocenní terasy ve výši do 20 m (Balatka & Sládek, 1962).

Kromě vodních toků jsou významnou součástí hydrografické struktury regionu rybníky a údolní nádrže. Z více než 7 000 rybníků leží převážná většina v Třeboňské a Českobudějovické pánvi, mnoho je jich také v povodí Nežárky a Lomnice. K nejvýznamnějším rybníkům patří Rožmberk (489 ha), Horusický (416 ha) a Dvořiště (337 ha).

Pánevní slabě zpevněné křídové i terciární sedimenty jsou charakteristické průlinovou propustností a ve vertikálním řezu střídáním kolektorů (prostředí se zvýšenou propustností, kterým může voda proudit) a izolátorů (prostředí s podstatně nižší propustností v porovnání s okolními horninami). K velmi významným oblastem akumulace podzemních vod patří jihočeské pánve a povodí Lužnice, kde překrývá východní rozhraní Třeboňské pánve vůči navazujícímu krystaliniku. Třeboňská pánev byla 1981 vyhlášena jako chráněná oblast přirozené akumulace vod (CHOPAV; Albrecht et. al., 2003).

### **Biogeografická charakteristika:**

Podle mapy potenciální přirozené vegetace se převážně nachází v zájmovém území acidofilní bikové, jedlové, březové a borové doubravy a lužní lesy. Na vlhčích stanovištích (třeboňská pánev) převládají jedlové doubravy (*Abieti-Quercetum*), v sušších a teplejších oblastech bikové doubravy (*Luzulo albidae-Quercentum*). Biková doubrava s dominantním dubem zimním (*Quercus petraea*), ve vlhčích místech s dubem letním (*Q. robur*) s příměsí dalších dřevin, např. břízy bělokoré (*Betula pendula*) a lipy malolisté (*Tilia cordata*). Na sušších písčitých a skalnatých stanovištích se objevuje borovice lesní (*Pinus sylvestris*). V bylinném patře je určující acidofilní a mezofilní lesní druchy lipnice hajní (*Poa nemoralis*), bika bělavá (*Luzula luzuloides*), kostřava ovčí (*Festuca ovina*) a černýš luční (*Melampyrum pratense*) aj. V slabě vyvinutém keřovém patře se nejčastěji objevuje krušina olšová a jalovec obecný (*Frangula alnus*, *Juniperus communis*). Typické pro jedlové doubravy je výskyt dubů (*Quercus robur*, *Q. petraea*) i jedle (*Abies alba*). V křovém patře v jedlových doubravách jsou hojné bika chlupatá (*Luzula polisa*), svízel okrouhlolistý (*Galium rotundifolium*), šťavel kyselý (*Oxalis acetosella*), mnohde jsou vyvinuty souvislé porosty ostřice prstnaté (*Carex digitata*; Neuhäuslová et. al., 1998).

V zájmovém území se také nachází lužní doubravy a olšiny. Dominantou lužní doubravy je dub letní (*Quercum robur*), přimíšena bývá střemcha (*Padus avium*) a lípa srdčitá (*Tilia cordata*), ve vlhčích polohách je typický výskyt olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) s příměsí vrby křehké (*Salix fragilis*). Místy bývá vysazován jasan (*Fraxinus excelsior*). V keřovém patru se kromě střemchy víceméně pravidelně objevuje *Sabucus nigra*, příp. *Corylus avellana*, řidčeji ostružiníky (*Rubus idaeus*, *R. fruticosus* agg.) nebo *Vidurnum opulus*. Dominantou bylinného patra bývá *Carex brizoides*, *Urtica dioica* (ve vlhčích typech), hojně jsou též další hydrofilní a mezofilní druhy jako *Aegopodium podagraria*, *Anthriscus sylvestris*, *Deschampsia cespitosa*, aj. Mokřadní olšiny této jednotky jsou tvořeny dominantní olší lepkavou (*Alnus glutinosa*) ve stromovém patru a málo náročnými keři (*Frangula alnus*, *Salix cinerea*), řidčeji střemhou (*Padus avium*) v patru keřovém. V bylinném patru se objevuje *Carex elongata*, *C. brizoides*, *Calamagrostis canescens*, *Deschampsia cespitosa* aj. (Neuhäuslová et. al., 1998).

V rozsáhlé rybniční soustavě, především v Třeboňské a Českobudějovické pánvi jsou velmi cenná společenstva vodních a mokřadních živočichů, zejména početných populací mnoha druhů vodních ptáků. Na stanovištích ovlivněných substrátem (váté písky, vápance) nebo spojených říčními údolími a níže položenými oblastmi žijí v celku málo početné, ale ze zoogeografického hlediska pozoruhodné teplomilné druhy bezobratlých (Albrecht et. al. 2003).

#### 4. 3 PŮDNÍ CHARAKTERISTIKA OKOLÍ SLEDOVANÉ OBLASTI

Při vývoji půdního pokryvu širšího okolí sledované oblasti podle Půdní mapy ČR 1 : 50 000 sehrály nejvýznamnější roli celková členitost, klimatické poměry a horninové podloží. Obecně nejrozšířenější skupinou jsou kambizemě a půdy hydromorfní. V oblasti Třeboňské pánve jsou kyselé kambizemě vázány na jílovotopísčité a písčitojílovité předkvartérní sedimenty.

Druhou nejrozšířenější skupinou jsou hydromorfní půdy, z nichž zaujímají největší plochu gleje. Gleje jsou vázány na nevápnité nivní (fluviální) a deluviofluviální sedimenty, polygenetické hlíny i na předkvartérní jílovotopísčité a písčitojílovité sedimenty podél vodních a rybníků. Prostírají se v rozlehlých areálech, kde se také střídavě prolínají s organozeměmi. Pseudogleje navazují na gleje (Třeboňská pánev) a kambizemě (Českobudějovická pánev, Tábořská pahorkatina). Jejich půdotvorným substrátem jsou polygenetické hlíny a eolitickou i štěrkovou příměsí a jílovotopísčité a písčitojílovité předkvartérní sedimenty. Rozšířené jsou také podzoly nížinné a to na extrémně chudých písčitých substrátech (pískovcích, navátých píscích, terasových





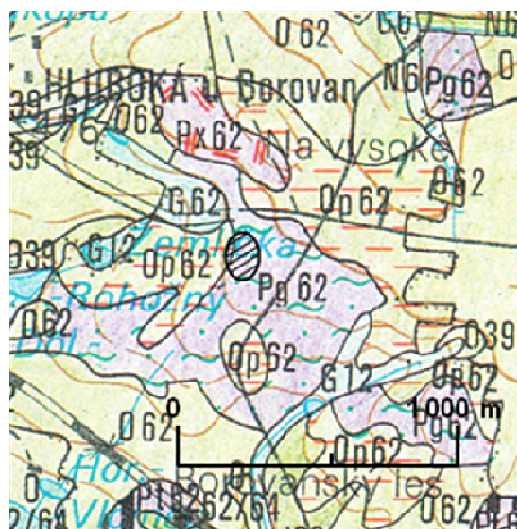
V okolí pískovny Dračice se nachází kambizemě kyselá na nekarbonátových terasových píscích. V blízkosti potoka Dračice se nacházejí gleje a na okolních polích se nachází pseudoglej.

Poblíž pískovny Lesů ČR – Cep se nacházejí podzoly extrémní a oglejený na předkvartérních píscích nakarbonákových. V přilehlém okolí se vyskytují nivní půdy glejové.

V okolí pískovny Žemličky jsou převážně podzol oglejený, pseudoglej podzolovaný a také gleje.



Obr. 6: Výřez půdní mapy - pískovna Dračice



Obr. 7: Výřez půdní mapy  
- pískovna Žemlička

Zdroj: Půdní mapa ČR. List 33 – 11 Třeboň.



Obr. 8: Výřez půdní mapy  
pískovna Lesů ČR - Cep

1 - K	2 - Kh	3 - D	4 - Xz	5 - I	6 - Ig	7 - O
8 - Oh	9 - Oi	10 - Op	11 - Os	12 - J	13 - H	14 - Hg
15 - HG	16 - Ha	17 - Hag	18 - Ho	19 - Hon	20 - Hp	21 - H
22 - Z	23 - Pf	24 - Px	25 - Pg	26 - Pt	27 - N	28 - NG
29 - Ng	30 - G	31 - Gt	32 - Gs	33 - Ts	34 - Tp	35 - To

**PŮDNÍ JEDNOTKY:** 1 – Kh - ranker; 2 – Kh - ranker hnědý; 3 – D - arenosol; 4 – Xz - antropogenní půda zavážková; 5 – I - illimerizovaná půda; 6 – Ig - illimerizovaná půda oglejená; 7 – O - pseudoglej; 8 – Oh - pseudoglej hnědý; 9 – Oi - pseudoglej illimerický; 10 – Op - pseudoglej podzolovaný; 11 – Os - stagnopseudoglej; 12 – J - stagnoglej; 13 – H - hnědá půda; 14 – Hg - hnědá půda oglejená; 15 – HG - hnědá půda glejová; 16 – Ha - hnědá půda kyselá; 17 – Hag - hnědá půda kyselá oglejená; 18 – Ho - hnědá půda silně kyselá; 19 – Hon - hnědá půda silně kyselá nevyvinutá; 20 – Hp - hnědá půda podzolovaná; 21 – H - hnědá půda na píscích a štěrčích; 22 – Z - rezivá půda; 23 – Pf - podzol železitý; 24 – Px - podzol extrémní; 25 – Pg - podzol oglejený; 26 – Pt - podzol zrašelinělý; 27 – N - nivní půda; 28 – NG - nivní půda glejová; 29 – Ng - nivní půda oglejená; 30 – G - glej; 31 – Gt - glej zrašelinělý; 32 – Gs - glej zrašelinělý; 33 – Ts - rašelinistní půda slatinná; 34 – Tp - rašelinistní půda přechodová mezotrofní; 35 – To - rašelinistní půda přechodová oligotrofní.

**PŮDOTVORNÉ SUBSTRÁTY:** 2 – antropogenní sedimenty-zavážky; 6 – nivní uloženiny nekarbonátové střední; 12 – deluviofluvialní uloženiny nekarbonátové střední; 16 – terasové písky nekarbonátové; 28 – rašelině přechodové; 32 – naváté písky nekarbonátové; 36 – sprasované hlíny; 39 – polygenetické hlíny kyselé; 62 – předkvartérní písky nekarbonátové; 64 – předkvartérní zahliněné a zajižené písky nekarbonátové; 66 – předkvartérní jílky nekarbonátové; 68 – neutrální intruziva; 69 – kyselá intruziva; 78 – ortoruly; 79 – pararuly; 106 – převážně fyzikální rozpady kyselých silikátových hornin.

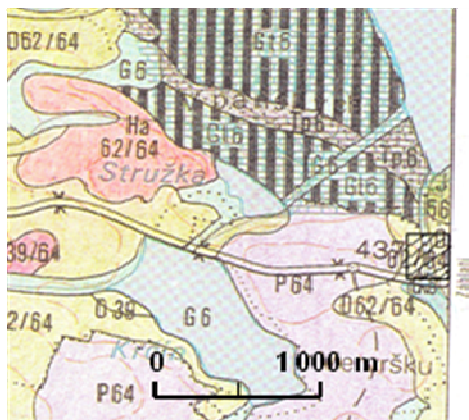
Obr. 9: Půdní jednotky listu 33 – 11 Třeboň

Zdroj: Půdní mapa ČR. List 33 – 11 Třeboň.

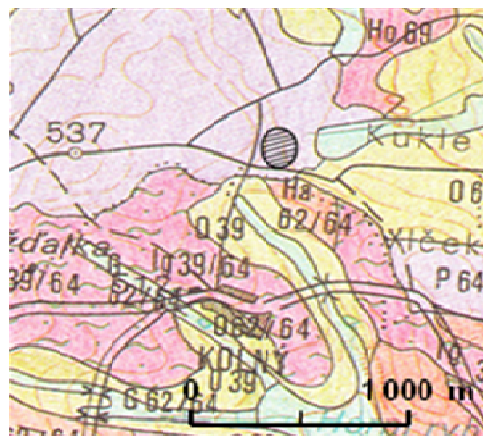


Poblíž pískovny Záblatí se nachází pseudoglej na předkvartérních pískách. Blíže k Zablatickému rybníku se nacházejí stagnogleje.

Pískovny Kolný se nachází v místech s podzoly, dále se v širším okolí nacházejí pseudoglej, kyselý kambizemě a gleje.

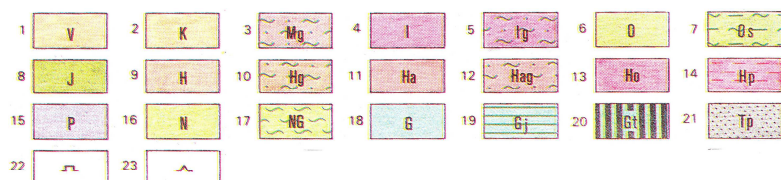


Obr. 10: Výřez půdní mapy  
- pískovna Záblatí.



Obr. 11: Výřez půdní mapy  
- pískovna Kolný.

Zdroj: Půdní mapa ČR. List 22 – 44 Hluboká nad Vltavou.



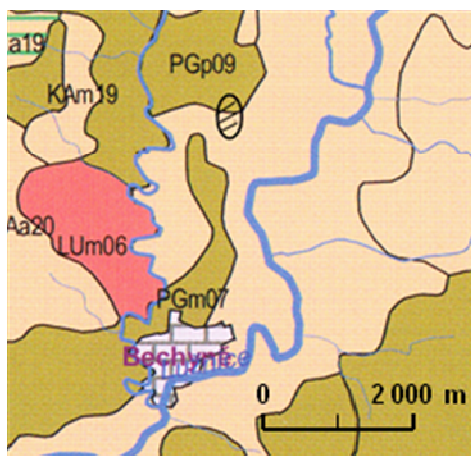
**PŮDNÍ JEDNOTKY:** 1 – V – surová půda; 2 – K – ranker; 3 – Mg – hnědozem oglejená; 4 – I – illimerizovaná půda; 5 – Ig – illimerizovaná půda oglejená; 6 – O – pseudoglej; 7 – Os – stagnopseudoglej; 8 – J – stagnoglej; 9 – H – hnědá půda; 10 – Hg – hnědá půda oglejená; 11 – Ha – hnědá půda kyselá; 12 – Hag – hnědá půda; 13 – Ho – hnědá půda siolně kyselá; 14 – Hp – hnědá půda podzolovaná; 15 – P – podzol; 16 – N – nivní půda; 17 – NG – nivní půda glejová; 18 – G – glej; 19 – Gj – hydroglej; 20 – Gt – glej zrašelinělý; 21 – Tp – rašeliništní půda přechodová; 22 – povrchový důl; 23 – pískovna.

**PŮDOTVORNÉ SUBSTRÁTY:** 4 – nivní uloženiny nekarbonátové lehčí; 6 – nivní uloženiny nekarbonátové střední; 12 – deluviofluvialní uloženiny nekarbonátové; 16 – terasové písky nekarbonátové; 18 – terasové štěrky nekarbonátové; 21 – výrazně skeletovité svahoviny z převážně kyselého materiálu; 28 – rašeliny přechodové; 36 – sprašové hlíny (prachovice); 39 – polygenetické hlíny kyselé; 56 – kaolinitické líly; 58 – předkvartérní štěrky nekarbonátové; 62 – předkvartérní písky nekarbonátové; 64 – předkvartérní zajištěné písky nekarbonátové; 66 – jíly nekarbonátové; 69 – kyselá intruziva; 76 – hadce; 78 – ortoruly; 79 – pararuly a migmatity; 82 – krystalické křemence.

Obr. 12: Půdní jednotky listu 22 – 44 Hluboká nad Vltavou.

Zdroj: Půdní mapa ČR. List 22 – 44 Hluboká nad Vltavou.

Dobronice u Bechyně – podle atlasu půd České republiky se v okolí pískovny nachází pseudogleje modální a kyselé kambizemě.



Obr. 13: Výřez půdní mapy – pískovna Dobronice u Bechyně (PGp – pseudoglej pelická; PGm – pseudoglej modální; LUm – luvizem modální; Kam – kambizem modální; KAa – kambizem kyselá).

Zdroj: Atlas půd České republiky (Kozák et. al., 2009).

#### 4. 4 TĚŽBA

Pojem pískovna by se dal nejjednodušeji charakterizovat jako lom vzniklý po těžbě šterkopísku. Samotný pojem pískovna však není příliš výstižný, neboť se nikdy netěží pouze samotný písek bez příměsí šterku (Řehounková et. al., 2007). Rozsah těžby šterkopísku je poměrně značný. Počet výhradních ložisek šterkopísků v ČR je 208 (728 tis. m<sup>3</sup>) a nevýhradních je 338 (6050 tis. m<sup>3</sup>; data za rok 2009; Starý et. al., 2010).

Pískovny lze z hlediska hydrického režimu rozdělit na 3 typy – zatopené, tvořené drobnými tůňemi a suché. Zatopené pískovny vznikají tehdy, když se těží pod hladinou spodní vody (Řehounková a Řehounek, 2006). Menší pískovny, vniklé v minulosti pro místní potřebu, dnes často s několika tůňemi oddělenými hrázkami, kdy se těžilo v těsné blízkosti hladiny spodní vody, jsou dnes z hlediska zachování cenných rostlinných a živočišných druhů nejcennější. Je zde zpravidla i větší rozmanitost organismů a koncentrace vzácných taxonů (Řehounková a Řehounek, 2006).

Při těžbě písku se obvykle rozlišují dva základní způsoby:

- 1) těžba nad hladinu podzemní vody (suchá těžba)
- 2) těžba pod hladinu podzemní vody (mokrý těžba, těžba z vody)

Jako velmi praktické se ukázalo vyčlenění další kategorie pro těžbu těsně pod hladinu podzemní vody, pracovním označenou jako "bažinný typ". Voda se v těchto pískovnách objevuje pouze v období zvýšené hladiny podzemní vody. V sušších obdobích se na dně tvoří močálky a bažinky (proto bažinný typ; Matějček, 2001).

## 5. METODIKA A VÝSLEDKY

### 5. 1 METODIKA

Důležité bylo vybrat správné lokality pro sběr vzorků. Na vývoj půd mají vliv rostlinná společenstva a na ně vázaná živočišná společenstva, a také i podloží. Vybrán byl jen jeden typ rostlinného společenstva- různá sukcesní stádia borového lesa. Studována místa by také měla být stejně provlhčená.

Jak již bylo zmíněno, byly vybrány jen nerekultivované písčiny, ve kterých proběhl terénní průzkum. V osmi sledovaných lokalitách v roce 2011 na jaře (duben-květen) byly odebrány vzorky z hloubky 1 – 5 cm organominerálního horizontu pro následnou analýzu. Dále byla měřena mocnost půdního opadu.

Stáří bylo odhadnuto podle přeslenů (místa, kde z kmene vyrůstají větve do stran) na borovicích v dané lokalitě. Tyto jehličnaté stromy totiž rostou v téměř všech písčinných a vyrůstají prakticky okamžitě po ukončení těžby. K výsledku byly přičítány dva roky za dobu, kdy se ještě mladá borovička nevětvila. Obtížnější je počítání u starých borovic, kde namísto přeslenů musíme v dolních partiích kmene sčítat místa se stopami po větvích. Jedná se samozřejmě o přibližný odhad stáří písčiny, pro účely bakalářské práce postačí, ale vhodnější by bylo zjistit stáří například pomocí dendrochronologie.

Vzorky byly rozděleny do tří sukcesních stádií: iniciální (1 – 5 let), mladé (5 – 16 let) a staré (16 > let). Na základě tohoto rozdělení byly hodnoceny vzorky pomocí analýzy variance (ANOVA) v programu Excel. Testován byl rozdíl, v hodnotách pH a množství akumulovaného opadu, mezi sukcesními kategoriemi.

Výměnné  $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$  půdy bylo zjištěno v laboratoři pomocí elektrometrického pH metru.

## 5. 2 VÝSLEDKY

Zhodnocení pískoven z hlediska vegetace je dosti obtížné, veliký vliv má okolní vegetace a stanovištní podmínky (makroklima). Obecně se vykytovaly břízy bělokoré (*Betula pendula*) a lipy malolisté (*Tilia cordata*) a na sušších písčitých a skalnatých stanovištích s borovicí lesní (*Pinus sylvestris*), topol osika (*Populus tremula*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) aj. Z bylinného patra třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*), dále zde roste vratič obecný (*Tanacetum vulgare*), třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*), štirovník růžkatý (*Lotus corniculatus*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), psineček obecný (*Agrostis capillaris*) aj.

Ve většině pískoven si vykytují tůně s přilehlými mokřady. Mokřadní druhy, které se běžně vykytují v pískovnách, jsou: ostřice měchýřkatá (*Carex vesicaria*), ostřice štíhlá (*Carex acuta*), zblochan vzplývavý (*Glyceria fluitans*), rdest vzplývavý (*Potamogeton natans*), okřehek trojbrázdý (*Lemna trisulca*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), halucha vodní (*Oenanthe aquatica*), zevar vzpřímený (*Sparganium erectum*), ostřice šáchorovitá (*Carex bohemica*), žabník jitrocelový (*Alisma plantago-aquatica*) a náletové druhy vrbin - především vrba popelavá (*Salix cinerea*) a vrba jíva (*Salix caprea*).

Ze zvláště chráněných druhů se zde hojně vyskytuje rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia*), plavuňka zaplavovaná (*Lycopodiella inundata*), nehtovec přeslenitý (*Illecebrum verticilatum*), konitrud lékařský (*Gratiola officinalis*), žabníček vzplývavý (*Luronium natans*), šáchorek žlutavý (*Cyperus flavescens*), protěž bleďožlutá (*Gnaphalium luteo-album*).

Jihočeské pískovny jsou tradičním hnízdištěm chráněné břehule říční (*Riparia riparia*).

Na základě analýzy variance ze 17 vzorků se podařilo prokázat rozdíly mezi sukcesními stádii u pH.  $P = 0,018066$ . Podařilo se prokázat, že se pH půdy s postupujícím sukcením stářím snižuje. I na základě průměru pH u takto malého počtu vzorků se dá usuzovat, že dochází ke snížení pH (viz tab. 1).

Analýza variace pH se prováděla i mezi jednotlivými sukcesními stádii (viz příloha 9,10,11). Rozdíl v pH mezi sukceními stádii starými do pěti a stádii starými 6 – 16 let, se nám nepodařilo prokázat.

Tab. 1: Výsledky pH

<i><b>Výběr</b></i>	<i><b>Počet</b></i>	<i><b>Součet</b></i>	<i><b>Průměr</b></i>	<i><b>Rozptyl</b></i>
<b>A</b>	7	31	4,428571	0,168514
<b>B</b>	6	26,01	4,335	0,20267
<b>C</b>	4	14,59	3,6475	0,054358
<i><b>Hodnota P</b></i>	0,018066			

Analýzou variance bylo také prokázáno, že mezi kategoriemi existují rozdíly v mocnosti akumulovaného opadu. Mocnost opadu s postupujícím sukcesním stářím roste (viz tab. 2). Rozdíly byly také průkazné u analýzy mezi jednotlivými skupinami (viz příloha 12,13,14).

Tab. 2: Výsledky opad

<i><b>Výběr</b></i>	<i><b>Počet</b></i>	<i><b>Součet</b></i>	<i><b>Průměr</b></i>	<i><b>Rozptyl</b></i>
<b>A</b>	7	0,5	0,071429	0,035714
<b>B</b>	6	1,5	0,25	0,075
<b>C</b>	4	4,5	1,125	0,0625
<i><b>Hodnota P</b></i>	$1,59 \cdot 10^{-5}$			



## 6. DISKUSE

V písčinných se nejčastěji vykytovaly buď sušší podmínky, vlhké anebo mokřady s tůněmi. Tyto podmínky měly vliv na výskyt vegetace. Ke stejným závěrům ve svých studiích o štěrkopísčinných dospěla i Řehouňková (2006). Uvádí, že v iniciálních stadiích (1-3 roky) se objevovaly luční a mokřadní druhy v závislosti na typu stanoviště. Na vlhkých stanovištích dominovala vegetace vlhkých eutrofních půd a litorální vegetace. Na extrémních stanovištích převažovala po celý průběh sukcese vegetace luční (suchá stanoviště suchých regionů) nebo mokřadní (litorální stanoviště). Na ostatních stanovištích s příznivými podmínkami docházelo k postupnému vývoji k lesní vegetaci (Řehouňková, 2006). Ruderální druhy byly zaznamenány na většině suchých stanovišť, avšak během prvních 20 let vymizely. Sukcese vegetace na písčinných je podle Řehouňkové (2006) průkazně ovlivněna výškou hladiny spodní vody, půdní texturou, pH, makroklimatem, přítomností některých okolních (polo-) přirozených společenstev (suché louky, lesy, mokřady) a některými typy využití krajiny (lesy, vlhké louky, zemědělské plochy a urbánní plochy).

Na rozdíl od zjištění Řehouňkové (2006) se ve sledovaných písčinných převážně vykytovala vegetace břízy bělokoré (*Betula pendula*) a na sušších písčitých a skalnatých stanovištích s borovicí lesní (*Pinus sylvestris*), topolu osiky (*Populus tremula*), olše lepkavé (*Alnus glutinosa*). V písčinných se nejdříve objevují dřeviny, a v tomto jsou oproti jiným těžebním prostorům výjimečné. Semenačky borovic obvykle vyrůstají již v prvním roce sukcese přímo na holém písku (Prach et. al. 2009). Další studií, která se zabývala studiem ve štěrkopísčinných ve Švédsku, byl Borgegård (1990), ten shodně dospěl k závěrům, že častými průkopníky jsou borovice lesní (*Pinus sylvestris*), ale i smrk ztepilý (*Picea abies*), metlička křivolaká (*Deschampsia flexuosa*) a vřes obecný (*Calluna vulgaris*). Podle Borgegård, (1990) jsou lomy jakousi izolovanou pouští pro lesní druhy, zejména lesní mechy a lišejníky.

Ve sledovaných písčinných bylo měřeno pH a mocnost opadu. Výsledky ukazují jasný trend snížení pH se sukcesním stářím a růst mocnosti opadu. Ke stejným závěrům ve svých studiích dospěli, Jacobsen & Birks, (1980), Sival, (1996), He & Y. Tang, (2008), Frouz a kol. (2008), Koutecká & Koutecký (2006) a Šourková et.al. (2005) z důvodu hromadění organických kyselin. Podle Prach et. al. (2007) pH nepřímo ovlivňuje rychlost sukcese. Na kyselých půdách je uchycení a následný rozvoj rostlin velmi

limitován. Například, při nízkém pH asi 3,5 u výsypek z těžby hnědého uhlí dochází k potlačení kolonizace rostlin (Schulz & Wiegand, 2000).

Podle výsledků (Řehounková & Prach, 2006) se pH půdy zvyšuje se stářím. Toto zjištění je odlišné jak od studie sukcese ve štěrkopískovnách ve Švédsku (Borgegård, 1990), tak i od mé studie. Zvýšení pH mohlo být z důvodu, že z prvních 0.3 m pod horní vrstvou organické zeminy byly odebrány půdní vzorky a smíchány do jednoho souhrnného vzorku. Z toho vzorku se následně určovalo pH. I u mých vzorků v prvních dvou stádiích se neprokázalo, že se sukcením stářím se pH mění. Záleží ale také na místě odběru a vegetaci. Má místa odběru se vykytovala v borovém lese, pod nímž se hromadí kyselý opad, místa odběru studie Řehounková & Prach (2006) mohli být v blízkosti listnáčů či bylinné vegetace.

Výsledky ukazují, že s rostoucím sukcesním stářím roste mocnost opadu a tím i produkce humusu a obsah živin v něm na lokalitě stoupá, což je důležité pro růst rostlin. Růst mocnosti opadu může být způsoben významným vzrůstem v produkci bylinné a dřevní biomasy, která se poté mění v organickou půdní hmotu, také se ve stanovištích hromadí těžko rozložitelný opad. Frouz et al. (2008) mikrostrukturní analýzou odhalili, že aktivita žížal, především promíchávání organických a minerálních vrstev, hraje hlavní roli v uspořádání celé humusové vrstvy a celkovém rozložení dostupných živin pro rostliny. Rozdíly v kvalitě opadu mohou měnit tvorbu půdy dokonce i ve stejném původním substrátu (Walker & del Moral, 2003).

Podle Elgersma (1998) je tloušťka organického půdního profilu důležitá pouze v mladších fázích, ve starších fázích již není uváděna jako rozlišovací parametr. V mladších fázích se, ale zvyšuje tloušťka organického půdního profilu představující stále větší množství organické hmoty, která byla poté více či méně stabilní ve starších fázích.

## 7. ZÁVĚR

Nepoužívané lomy, příkladem jsou sledované pískovny extrahované do hloubky několika metrů, často poskytují vhodnou příležitost pro studium primární sukcese. Pískovny jsou vhodné místo jak pro studování vývoje půd, tak i pro sukcesi rostlin, jak ukazuje tato práce. Pískovny obvykle díky komplikovaným mikroklimatickým a geomorfologickým podmínkám a proměnlivé míře retence vody v převážně písčitých substrátech, mají obvykle mnohem vyšší diverzitu vegetace, která je výrazně ovlivněna dostupností a rozmanitostí semen v blízkém okolí.

Zkoumání různých faktorů ovlivňující vývoj půd a s tím související růst rostlin je důležité pro porozumění průběhu primární sukcese, která začíná na každém holém substrátu, a nejen v pískovnách. Hlavně primární sukcese je spojována s rekultivací, převážně se spontánní sukcesí, takže bez zásahu člověka. Spontánní sukcese je v dnešní době jedna z nejčastěji prosazovaných forem obnovy těžebních oblastí.

Výsledky ukazují, že pH a opad se mění s postupujícím sukcesním stářím. Největší vliv na pokles pH má vegetace, která se vyskytuje v jednotlivých pískovnách. Na počátku primární sukcese se v pískovnách vykytují převážně dřeviny, čímž se liší od jiných těžebních míst. Uchycují se zejména borovice, které svým jehličnatým opadem okyselují půdu. Téměř všechny studie i má dokládají, že s postupujícím sukcesním stářím roste mocnost opadu. Další faktory ovlivňující vývoj půd v pískovnách, jako je například textura či obsah uhlíku a dusíku, nelze opomenout a mohou být předmět další případné studie v diplomové práci.

## 8. POUŽITÁ LITERATURA

- ABBOTT, I. (1989):** The influence of fauna on soil structure. In *Animals in primary Succession*, ed. J. Majer, s. 39-50. Cambridge: Cambridge University Press.
- ALBRECHT, J. et. al. (2003):** Chráněná území ČR-Českobudějovicko, svazek VIII. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 807 s.
- ALLEN, M. F., ALLEN, E. B., ZINK, T. A., HARNEY, S., YOSHIDA, L., C., SIGÜENZA, C., EDWARDS, F., HINKSON, C., RILLING, M., BAINBRIGE, D., DOLJANIN, C. & MacALLER, R. (1999):** Soil microorganisms. In *Ecosystems of Disturbed Ground, Ecosystems of the World 16*, ed. L. R. Walker, s. 521-44. Amsterdam: Elsevier.
- ALLEN, M. F., CRISAFULLI, C., FRIESE, C. F. & JENKINS, S. (1992):** Reformation of mycorrhizal symbioses on Mount St. Helens, 1980-1990: Interactions of rodents and mycorrhizal fungi. *Mycological Research*, 96, s. 447-53.
- AMUNDSON, R. & JENNY, H. (1997):** On a state factor model of ecosystems. *BioScience*, 47, s. 536-43.
- BALATKA, B. & SLÁDEK, J. (1962):** Říční terasy v českých zemích. Praha, Československá akademie věd, 578 s.
- BARBOUR, M. G., de JONG, T. M. & PABLIK, P. M. (1985):** Marine beach and dune plant communities. In: *Physiological Ecology of North American Plant Communities*, ed. B. F. Chabot & H. A. Mooney, s. 296-322. New York: Chapman & Hall.
- BINKLEY, D. & GIARDINA, C. (1998):** Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*, 42, s. 89-106.
- BOAG, B. & YEATES, G. W. (1998):** Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 7, s. 617-30.
- BORGEGÅRD, S. (1990):** Vegetation development in abandoned gravel pits: effects of surrounding vegetation, substrate and regionality. *J. of Veget. Scien.* (1)5, s. 675-682.
- BRADSHAW, A. D. & CHADWICK, M. J. (1980):** *The Restoration of Land: The ecology and Reclamation of Derelict and Degraded Land*. Oxford: Blackwell.
- BURGESS, A. & DROVER, D. P. (1953):** The rate of Podzol development in sand of the Woy Woy District N. S. W. *Aust. J. Bot.*, 1, s. 83-94.
- BURLEIGH, S. H. & DAWSON, J. O. (1994):** Occurrence of *Myrica*-nodulating *Frankia* in Hawaiian volcanic soils, *Plant and Soil*, 164, s. 283-9.
- COLEMAN, D. C. & CROSSLEY, D. A., Jr. (1996):** *Fundamentals of soil ecology*. Academic Press, San Diego, 205 s.
- De KOVEL, C. G. F., Van MIERLO, A. J. E. M., WILMS, Y. J. O. & BERENDSE, F. (2000):** Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age. *Plant Ecology*, 149, s. 43-50.

- DANIN, A. (1991):** Plant adaptations in desert dunes. *Journal of Arid Environments*, 21, s. 193-212.
- DOWN, C. G. (1975):** Soil Development on Colliery Waste Tips in Relation to Age. II. Chemical Factors. *The Journal of Applied Ecology*, 12 (2), s. 623-635.
- ELGERSMA, A. M. (1998):** Primary forest succession on poor sandy soils as related to site factors. *Biodiversity and Conservation* 7, s. 193-206
- FOSTER, S. M. & NICOLSON, T. H. (1981):** Microbial aggregation of sand in maritime dune succession. *Soil Biology and Biochemistry*, 13, s. 20-208.
- FOY, C. D. (1984):** Physiological effects of hydrogen, aluminium and manganese toxicities in acid soil. In *Soil Acidity and Liming*, 2nd edition, ed. F. Adams, s. 57-97. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- FROUZ, J. (2006):** Interakce rostlin, půdy a půdních živočichů a jejich vliv na sukcesi rostlinných a živočišných společenstev na disturbovaných územích. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: *Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály* 21, s. 65-71.
- FROUZ, J., KEPLIN, B., PILŽ, V., TAJOVSKÝ, K., STARÝ, J., LUKEŠOVÁ, M., NOVÁKOVÁ, A., BALÍK, V., HÁNĚL, L., MATERNA, J., DÜKER, Ch., CHALUPSKÝ, J., RUSEK, J., HEINKELE, T. (2001):** Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecol. Eng.*, 17, s. 275–284.
- FROUZ, J., PRACH, K., PITL, V., HÁNĚL, L., STARÝ, J., TAJOVSKÝ, K., MATERNA, J., BALÍK, V., KALČÍK, J., ŘEHOUNKOVÁ, K. (2008).** Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology*, 44, s. 109-121.
- GLENN-LEWIN, D. C., PEET, R. K., VELBEN, T. T. (eds.) (1992):** Plant succession. Theory and prediction. Chapman and Hall. London.
- GOLDICH, S. S. (1938):** A study in rock weathering. *J. Geol.*, 46, s. 17-58.
- GRUBB, P. J. (1986):** The ecology of establishment. In *Ecology and Design in Landscape*, ed. A. D. Bradshaw, D. A. Goode & E. Thorp, s. 83-98. Oxford: Blackwell.
- GRUBB, P. J. (1987):** Some generalizing ideas about colonization and succession in green plants and fungi. In *Colonization, Succession and Stability*, ed. A. J. Gray, M. J. Grawley & P. J. Edwards, s. 81-102. Oxford: Blackwell.
- HARDIE, K. & LEYTON, L. (1981):** New phytology. 89, s. 599-608.
- HE, L. & TANG, Y. (2008):** Soil development along primary succession sequences on moraines of Hailuoguo Glacier, Gongga Mountain, Sichuan, China. *Catena*, 72, s. 259–269.
- HORNÍK, S. et. al. (1982):** Základy fyzické geografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 398 s.

- HROUDOVÁ, Z. & ZÁKRAVSKÝ, P. (2004):** The influence of the moss layer on soil surface microclimate in an abandoned are-wasgery sedimentation basin.-In Kovář P.[ed.], Natural recovery of human-made deposits in landscape (Biotic interactions and ore/ash-slag artificial ecosystems), s. 235-247, Academia, Prague.
- HUGGETT, R. J. (1998):** Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review, *Catena*, 32, s. 155-172.
- HUSS-DANELL, K., ULIASSI, D. & RENBERG, I. (1997):** River and lake sediments as sources of infective *Frankia* (*Alnus*). *Plant and Soil*, 197, s. 35-9.
- CHADWICK, H. W. & DALKE, P. H. (1965):** Plant succession on dune sand in Fremont County, Idaho. *Ecology*, 46, s. 765-80.
- CHADWICK, O. A., DERRY, L. A., VITOUSEK, P. M., HUEBERT, B. J. & HEDIN, L. O. (1999):** Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, s. 491-99.
- JACKSON, M. L. (1968):** Weathering of primary and secondary minerals in soil. *Trans. 9th Inter. Cong. Soil Sci.*, 4, s. 281-292.
- JACOBSEN, G. L. Jr. & BIRKS, H. J. B. (1980):** Soil development on recent end moraines of the Klutlan Glacier, Yukon Territory, Canada. *Quaternary Research*, 14, s. 87-100.
- JENNY, H. (1941):** *Factors of Soil Formation*. New York: McGraw- Hill.
- KILLHAM, K. (1994):** *Soil ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 242 s.
- KONVALINKOVÁ, P. (2006):** Spontánní sukcese vegetace na těžných rašeliništích: možná cesta obnovy? In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: *Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21*, s. 135-140.
- KOUTECKÁ, V. & KOUTECKÝ, T. (2006):** Sukcese na antropogenních stanovištích Ostravsko-karvinského revíru. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: *Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21*, s. 117-124.
- KOVÁŘ, P. (2006):** Ekologie obnovy poškozené krajiny. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: *Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21*, s. 23-38.
- KOVÁŘOVÁ M. (2006):** Role fenolických látek v koloběhu dusíku a jejich vliv na průběh obnovy vegetačního krytu. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: *Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21*, s. 159-163.
- KOZÁK, J. et. al. (2009):** *Atlas půd České republiky*. 2. Vyd. ČZU, Praha, 149 s.
- MAJER, J. D. (1989):** Fauna studies and land reclamation technology – a review of the history and need for such studies. In *Animals in Primary Succession: The Role of*

Fauna in Reclaimed lands, ed. J. D. Majer, s. 5-34. Cambridge: Cambridge University Press.

**MÁLKOVÁ, L. (2009):** Srovnání spontánně zarostlých a technicky rekultivovaných ploch na Radovesické výsypce na Mostecku. Ms. [Bakalářská práce, depon. in Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích].

**MATĚJČEK, T. (2001):** Krajinně – ekologické zhodnocení vytěžených pískován okrese Nymburk. Ms. [Diplomová práce, depon. in Přírodovědecká fakulta UK, Praha].

**MATTHEWS, J. A. (1992):** The Ecology of Recently- Deglaciated Terrain: A Geoecological Approach to Glacier Forelands and Primary Succession. Cambridge: Cambridge University Press.

**McKIBBEN, B. (1989):** The End of Nature. New York: Random House.

**NEUHÄUSLOVÁ, Z. et. al. (1998):** Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Academia, Praha, 341 s. + mapová příloha

**NOVÁK, J. & KONVIČKA, M. (2006):** Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. Ecological Engineering, 26, s. 113-122.

**OADES, J. M. (1993):** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma, 56, s. 377-400.

**OREMUS, P. A. I. & OTTEN, H. (1981):** Factors affects growth and nodulation of *Hippophaë rhamnoides* L. ssp. *Rhamnoides* in soils from two successional stages of dune formation. Plant and Soil, 63, s. 317-31.

**OTTENHOF, C. J. M., FAZ CANO, Á., AROCENA, J. M., NIEROP, K. G. J., VERSTRATEN, J. M., van MOURIK, J. M. (2007):** Soil organic matter from pioneer species and its implications to phytostabilization of mined sites in the Sierra de Cartagena (Spain). Chemosphere, 69, s. 1341-1350

**PÁNEK, T. & BUZEK, L. (2002):** Základy pedologie a pedogeografie. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, 148 s.

**PIOTROWSKA, H. (1988):** The dynamics of the dune vegetation on the Polish Baltic coast. Vegetatio, 77, s. 169-75.

**PRACH, K. (1988):** Životní cykly rostlin ve vztahu k časovým změnám populací a společenstev. Preslia, 60, s. 23-40.

**PRACH, K. et. al. (2009):** Ekologie obnovy narušených míst. II. Místa narušená těžbou surovin. Živa (2), s. 68-72.

**PRACH, K., PYŠEK, P., JAROŠÍK, V. (2007):** Climate and pH as determinants of vegetation succession in Central European man-made habitats. Journal of Vegetation Science 18, s. 701-710.

**PRÁŠIL, K., KUBÁTOVÁ, A. & VÁŇOVÁ, M. (2006):** Mikroskopické houby – pionýrské organismy narušených půd. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P.,

Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21, s. 151-153.

**QUITT, E. (1971):** Klimatické oblasti Československa. GgÚ ČSAV, Brno, 73 s.

**RUSSELL, A. E. & VITOUSEK, P. M. (1997):** Decomposition and potential nitrogen fixation in *Dicranopteris linearis* litter on Mauna Loa, Hawaii. *Journal of Tropical Ecology*, 13, s. 579-94.

**ŘEHOUNKOVÁ, K. (2006):** Spontánní sukcese vegetace ve štěrkopískovnách: možnost pro ekologickou obnovu. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehouňková K. [eds]: Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21, s. 125-134.

**ŘEHOUNKOVÁ, K. & PRACH, K. (2006):** Spontaneous vegetation succession in disused gravelsand pits: Role of local site and landscape factors. *Journal of Vegetation Science*, 17, s. 583-590.

**ŘEHOUNKOVÁ, K. & ŘEHOUNEK, J. (2006):** Pískovny v krajině, České Budějovice, Sdružení Calla 2006.

**ŘEHOUNKOVÁ, K. ŘEHOUNEK, J., JANOŠTÁK, J. (2007):** Pískovny za humny, České Budějovice, Sdružení Calla.

**SCHULZ, F. & WIEGLEB, G. (2000):** Development options of natural habitats in a postmining landscape. – *Land Degrad. Develop.*, 11, s. 99-110.

**SIVAL, F. P. (1996):** Mesotrophic basiphilous communities affected by changes in soil properties in two dune slack chronosequences. *Acta Botanica Neerlandica*, 45, s. 95-106.

**SIVAL, F. P. & GROOTJANS, A. P. (1996):** Dynamics of seasonal bicarbonate supply in a dune slack: Effects on organic matter, nitrogen pool and vegetation succession. *Vegetatio*, 126, s. 39-50.

**SMOLÍK, L. (1957):** Pedologie. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 399 s.

**SMOLÍKOVÁ, L. (1982):** Pedologie. I. díl. Univerzita Karlova, Praha, 123 s.

**STARÝ, J., KAVINA, P., VANĚČEK, M., SITENSKÝ, I., KOTKOVÁ, J., HODKOVÁ, T. (2010):** Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny, stav 2009. Česká geologická služba-Geofond, Praha, 489 s.

**ed. SUMNER, M. E.(2000):** Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, 2111 s.

**ŠOURKOVÁ, M., FROUZ, J., FETTWEIS, U., BENS, O., HÜTTL, R. F., ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2005):** Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). *Geoderma*, 129, s. 73–80.

**ŠTÝS, S. et al. (1981):** Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. SNL, Praha, 680 s.



- TICHÝ, L. (2006):** Diverzita vápencových lomů a možnosti jejich rekultivace s využitím přirozené sukcese na příkladu Růženina lomu. In Prach K., Pyšek P., Tichý L., Kovář P., Jongepierová I., Řehounková K. [eds]: Botanika a Ekologie Obnovy, Zprávy Čes. Bot. Společnosti, Materiály 21, s. 89-103.
- TICHÝ, L. & SÁDLO, J. (2001):** Revitalizace vápencových lomů. Ochrana přírody 56, s. 178-182.
- TOMÁŠEK, M. (2003):** Půdy České republiky. Český geologický ústav, Praha, 67 s., + 1mapová příloha
- TSUYUZAKI, S. & del MORAL, R. (1995):** Species attributes in early primary succession on volcanoes. Journal of Vegetation Science, 6, s. 517-522.
- VALOUŠKOVÁ, M. (2010):** Faktory ovlivňující sukcesi v rekultivovaných lomech. Ms. [Bakalářská práce, depon. in Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta].
- VITOUSEK, P. M. & FIELD, C. B. (1999):** Ecosystem constraints to symbiotic nitrogen fixation: A simple model and its implications. Biogeochemistry, 46, s. 179-202.
- VITOUSEK, P. M. & WALKER, L. R. (1989):** Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: Plant demography, nitrogen fixation, and ecosystem effects. Ecological Monographs, 59, s. 247-65.
- WALKER, L. R. (1993):** Nitrogen fixers and species replacements in primary succession. In Primary Succession on Land, ed. J. Miles & D. W. H. Walton, s. 249-72. Oxford: Blackwell.
- WALKER, L. R. (1999):** Patterns and processes in primary succession. In Ecosystems of Disturbed Land, Ecosystems of the World 16, ed. L. R. Walker, s. 585-610. Amsterdam: Elsevier.
- WALKER, L. R. & del MORAL, R. (2003):** Primary succession and Ecosystem rehabilitation. Cambridge University Press. Cambridge, 442 s.
- WALKER, L. R. & POWELL, E. A. (1999):** Regeneration of the Mauna Kea silversword *Argyroxiphium sandwicense* (Asteraceae) Hawaii. Biological Conservation, 89, s. 61-70.
- WALKER, L. R., ZARIN, D. J., FETCHER, N., MYSTER, R. W. & JOHNOSON, A. H. (1996):** Ecosystem development and plant succession on landslides in the Caribbean. Biotropica, 28, s. 566-76.
- WARDENAAR, E. C. P. & SEVINK, J. (1992):** A comparative study of soil formation in primary stands of Scots pine (planted) and poplar (natural) on calcareous dune sand in the Netherlands. Plant and Soil, 140, s. 109-20.
- YUAN, J. - G., FANG, W., FAN, L., CHEN, Y., WANG, D. - Q. & YANG, Z. - Y. (2006):** Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. Restoration Ecology Vol. 14, No. 3, s. 349-356.

**Elektronické zdroje:**

*Jihočeské pískovny* [online]. Calla – Sdružení pro záchranu prostředí [cit. 2011-03-15]. Dostupné z URL < [www.calla.cz](http://www.calla.cz) >.

*Data – Jihočeský kraj* [online]. [cit. 2011-04-18]. Dostupné z serveru: < Geodatabáze ArcČR 300 >.

**Mapové podklady:**

Půdní mapa ČR 1 : 50 000 – listy - 22 – 44 Hluboká nad Vltavou

- 33 – 11 Třeboň

- 23 – 31 Soběslav

## 9. PŘÍLOHY

Příloha 1: Dobronice u Bechyně



Zdroj: <http://www.calla.cz/>

Příloha 2: Pískovna Kolný



Zdroj: <http://www.calla.cz/>

Příloha 3: Pískovna Lžín



Zdroj: <http://www.calla.cz/>

Příloha 4: Pískovna Hůrka



Vlastní zdroj: foceno dne: 16. 4. 2011

Příloha 5: Pískovna Dračice



Vlastní zdroj: foceno dne – 7. 5. 2011

Příloha 6: Pískovna Lesů ČR – Cep



Zdroj: <http://www.calla.cz/>

Příloha 7: Pískovna Záblatí



Vlastní zdroj: foceno dne: 7. 5. 2011

Příloha 8: Pískovna Žemličky



Vlastní zdroj: foceno dne: 7. 5. 2011

Příloha 9: Výsledky pH skupina A a B

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
<b>A</b>	7	31	4,428571	0,168514
<b>B</b>	6	26,01	4,335	0,20267
<b>Hodnota P</b>	0,702511			

Příloha 10: Výsledky pH skupina B a C

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
<b>B</b>	6	26,01	4,335	0,20267
<b>C</b>	4	14,59	3,6475	0,054358
<b>Hodnota P</b>	0,02402			

Příloha 11: Výsledky pH skupina A a C

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
<b>A</b>	7	31	4,428571	0,168514
<b>C</b>	4	14,59	3,6475	0,054358
<b>Hodnota P</b>	0,007274			

Příloha 12: Výsledky opadu skupina A a B

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
<b>A</b>	7	0,5	0,071429	0,035714
<b>B</b>	6	1,5	0,25	0,075
<b>Hodnota P</b>	0,192978			

Příloha 13: Výsledky opadu skupina B a C

<i><b>Výběr</b></i>	<i><b>Počet</b></i>	<i><b>Součet</b></i>	<i><b>Průměr</b></i>	<i><b>Rozptyl</b></i>
<b>B</b>	6	1,5	0,25	0,075
<b>C</b>	4	4,5	1,125	0,0625
<i><b>Hodnota P</b></i>	0,000916			

Příloha 14: Výsledky opadu skupina A a C

<i><b>Výběr</b></i>	<i><b>Počet</b></i>	<i><b>Součet</b></i>	<i><b>Průměr</b></i>	<i><b>Rozptyl</b></i>
<b>A</b>	7	0,5	0,071429	0,035714
<b>C</b>	4	4,5	1,125	0,0625
<i><b>Hodnota P</b></i>	$2,31 \cdot 10^{-5}$			